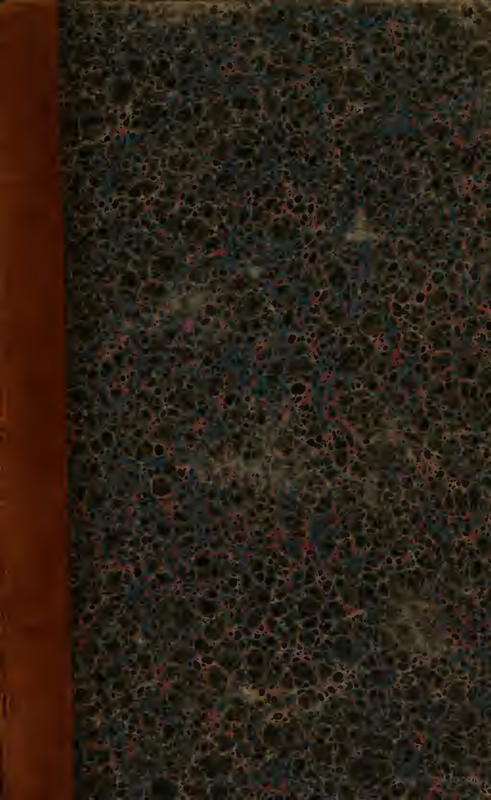


OTIVM
SINE LITERIS
MORS EST
Seneca

Ex Libris Joannis Nencini
1874





EULER.



IMPRIMÉ PAR BÉTHUNE ET PLON.

EULER.

LETTRES
A UNE PRINCESSE D'ALLEMAGNE

SUR

DIVERS SUJETS DE PHYSIQUE ET DE PHILOSOPHIE,

PRÉCÉDÉES

DE L'ÉLOGE D'EULER PAR CONDORCET.

Nouvelle édition,

AVEC UNE INTRODUCTION ET DES NOTES,

PAR M. ÉMILE SAISSET,

Professeur de Philosophie à l'École Normale.



PARIS,

CHARPENTIER, LIBRAIRE-ÉDITEUR,

29, RUE DE SEINE.

1843.

INTRODUCTION.

Les immenses travaux, les belles découvertes qui ont illustré le nom d'Euler dans la géométrie et dans la physique, sont depuis long-temps appréciés à leur juste valeur par les hommes versés dans ces hautes matières. On ne peut refaire, après Condorcet (qui moins que nous oserait l'essayer?), le tableau qu'il a tracé[1], d'une main si exacte et si ferme, de la carrière scientifique de ce laborieux génie, qui simplifia toutes les méthodes, cultiva, étendit toutes les branches du calcul, et marqua, pour ainsi dire, d'une empreinte lumineuse les objets sans nombre où il appliqua sa pénétrante intelligence et son inépuisable activité. Si la place de ce grand analyste reste pourtant au-dessous de celle des géomètres créateurs du XVIIe siècle, les Descartes, les Newton, les Leïbniz; elle paraît fixée, bien glorieusement encore, par l'admiration unanime des savants, entre Daniel Bernouilli et d'Alembert.

✿

Les *Lettres à une Princesse d'Allemagne*, dont nous donnons au public une nouvelle édition, écrites, comme on

1. Voyez à la suite de ces pages l'*Éloge d'Euler* par Condorcet.

sait, pour l'instruction de la nièce du roi de Prusse[1], n'entrent que pour une bien faible part dans les travaux sur lesquels repose la gloire d'Euler[2], et ne peuvent servir que d'une façon bien indirecte et bien imparfaite à apprécier en lui le physicien de génie et le grand géomètre; bien qu'on y voie briller au plus haut degré cette clarté éminente dont les hommes supérieurs ont seuls le secret, qui simplifie tout en ramenant tout aux principes, et réfléchit en quelque façon sur les côtés les plus humbles de la science la lumière qui en éclaire les hautes parties. « Le nom d'Euler, dit Condorcet, si grand dans les sciences, l'idée imposante que l'on se forme de ses ouvrages, destinés à développer ce que l'analyse a de plus épineux et de plus abstrait, donnent à ces lettres si simples, si faciles, un charme singulier : ceux qui n'ont pas étudié les mathématiques, étonnés, flattés peut-être de pouvoir entendre un ouvrage d'Euler, lui savent bon gré de s'être mis à leur portée; et ces détails élémentaires des sciences acquièrent une sorte de grandeur par le rapprochement qu'on en fait avec la gloire et le génie de l'homme illustre qui les a tracés. »

Nul doute que cette rare et haute clarté des *Lettres à une Princesse d'Allemagne* ne fasse leur principal attrait et leur plus frappant caractère; nul doute aussi qu'elle n'explique la popularité durable qui, dans ce mouvement rapide qu'ont pris les sciences physiques depuis quatre-vingts années[3], a fait survivre ces simples leçons à tant d'ouvra-

1. La princesse d'Anhalt-Dessau.

2. Euler a composé trente grands ouvrages distincts, notamment un *Traité du calcul intégral*, un *Traité de mécanique*, etc., et plus de sept cents Mémoires.

3. Les *Lettres à une princesse d'Allemagne* ont été écrites de 1760 à 1762.

ges plus profonds, et aux théories même, tombées aujourd'hui dans l'oubli, dont elles portent si souvent les traces.

Mais ce qui donne à nos yeux un intérêt plus grand encore aux *Lettres* d'Euler, c'est qu'elles nous découvrent un côté original, trop peu remarqué peut-être, de ce souple et fertile génie. La plupart de ses grands ouvrages, consacrés exclusivement à l'analyse mathématique, ne nous montrent en lui que le géomètre. Les *Lettres* nous révèlent le philosophe.

C'est ce côté des travaux d'Euler, le seul dont l'exploration soit opportune ici et convenable entre nos mains, que nous voudrions mettre en lumière. La simple et noble figure de ce grand homme a été tracée par un maître. Un seul trait peut-être y manque ; nous ne voulons pas l'y ajouter, mais seulement en marquer la place.

✿

L'époque où écrivait Euler n'était point une époque heureuse pour la philosophie. L'Angleterre était toute à Locke et à Hume, c'est-à-dire à l'empirisme et au scepticisme ; la France s'enchaînait à l'esprit de Voltaire, c'est-à-dire encore à la philosophie du doute unie à celle des sens. En Allemagne, Leibniz n'était plus ; et Kant, *encore endormi de ce sommeil dogmatique dont le réveilla David Hume*, ne paraissait point encore.

Depuis Newton, le cartésianisme pur était décrié dans toute l'Europe. La philosophie leibnizienne, réduite en système, mais déjà altérée et comme desséchée sous le formalisme de Wolff, se corrompait chaque jour davantage entre

les mains de disciples inintelligents, mille fois plus dangereux pour elle que ses plus mortels adversaires.

Les *Lettres à une Princesse d'Allemagne* nous présentent le spectacle animé de ce temps de crise, d'épuisement et de dissolution.

Euler s'y montre l'ennemi déclaré des *wolffiens*, comme il les appelle. Il combat avec force, avec passion, la monadologie et l'harmonie préétablie ; vastes conceptions du génie, qui se rapetissent singulièrement sous sa main, et auxquelles il n'épargne pas même, au milieu des accusations les plus injustes, des sarcasmes peu dignes d'un esprit si grave. Du reste, Euler ne prétend pas substituer un nouveau système à celui de Leibniz. Occupé d'autres objets, dominé d'ailleurs par l'esprit de son temps, il se défie des systèmes. S'il en adoptait un, plutôt que de suivre Leibniz, il remonterait plutôt jusqu'à Descartes, et essaierait une sorte de cartésianisme mitigé où la métaphysique des *Méditations* et des *Principes*, dégagée du cortége décrié de la théorie des tourbillons, viendrait se mettre en harmonie avec les progrès nouveaux de l'observation et du calcul.

Disons-le tout d'abord, cette entreprise manque de véritable grandeur ; mais Euler y a dépensé tant d'efforts d'intelligence et répandu un si grand nombre de vues ingénieuses, qu'elle mérite à coup sûr d'être constatée avec intérêt et appréciée avec respect. Ajoutons qu'il importe à l'histoire de la philosophie que le vrai caractère du leibnizianisme soit ici rétabli contre les attaques passionnées d'Euler, qui trop souvent défigure la doctrine qu'il veut détruire ; et d'empêcher ainsi que, sous l'autorité de ce grand nom et à

l'abri de ces *Lettres* si populaires, il ne s'établisse de faux préjugés contre un des systèmes qui honorent le plus l'esprit humain et qui occupent la plus grande place dans son histoire.

✪

Il ne faut point demander aux *Lettres à une Princesse d'Allemagne* ce qu'elles ne contiennent pas, ce qu'Euler n'y pouvait pas et n'y voulait pas mettre, savoir, un système complet de philosophie. Mais il ne faut point croire non plus que les vues philosophiques qu'on y trouve çà et là répandues manquent absolument d'unité. Ce qui frappe l'esprit au premier abord en lisant l'ouvrage d'Euler, c'est son opposition décidée, ardente, au leibnizianisme. Or, le secret de cette opposition est justement dans les vues propres d'Euler sur la nature et la communication des substances, lesquelles heurtaient en effet de front toute la philosophie des monades.

Euler avait beaucoup médité sur la question, si grave pour un physicien philosophe, de l'essence des corps. Descartes, comme on sait, et avec lui Malebranche et Spinoza, faisaient consister l'essence des corps dans la seule étendue, comme celle des esprits dans la seule pensée; et de même que l'appétit, le désir, l'imagination et la volonté elle-même, n'étaient aux yeux de cette école que des modes de la pensée, toutes les propriétés réelles des corps se pouvaient déduire de l'étendue avec une rigueur mathématique.

Or, tant qu'il ne s'agissait que d'expliquer la figure et la divisibilité, les cartésiens s'en tiraient à merveille. Pour le mouvement, il y avait déjà de la difficulté ; mais si on ne pouvait la résoudre, on la tournait. Enfin, arrivé à ce point, il fallait bien s'y arrêter, la déduction mathématique ne pouvant faire un pas de plus. Toutes les propriétés des corps se déduisent donc de l'étendue ; et s'il en est qui ne puissent pas s'en déduire, ce sont là des qualités purement illusoires, qui n'ont pas de place dans le monde cartésien.

Euler attaque avec force et réfute solidement cette théorie de l'essence des corps. Mais, en vérité, il n'y avait pas grande peine ni par conséquent grand mérite à démontrer, après Leibniz, que l'étendue, réduite à elle seule et destituée de tout principe d'activité, se confond avec l'espace géométrique et abstrait, avec le vide, et ne saurait constituer aucun être effectif.

Euler établit donc la nécessité de reconnaître dans les corps une nouvelle qualité essentielle, qu'il appelle l'*impénétrabilité*. Mais ici il s'écarte beaucoup du sens profond de Leibniz. L'impénétrabilité n'est pas pour lui une force véritable, un principe d'activité réelle ; car il va bientôt y joindre l'inertie, comme propriété aussi essentielle à la matière que l'étendue et l'impénétrabilité elles-mêmes. L'impénétrabilité d'Euler est une sorte de propriété géométrique et logique : c'est l'impossibilité que deux corps occupent le même lieu. Pourquoi cela ? Il n'y a pas de pourquoi, suivant Euler : c'est la nature des choses.

Euler s'écarte quelquefois de la rigueur de cette théorie, au moins dans les termes. Il dit que chaque corps *fait des*

efforts pour se maintenir dans le même état, qu'il désire y persister, en quelque sorte. Mais ce n'est là apparemment qu'une métaphore; car ces efforts, ces désirs, sont diamétralement contraires à l'essence de la matière, qui, de soi, est absolument inerte.

L'inertie ne consiste pas dans une certaine résistance au mouvement. Euler se moque avec raison de ceux qui envisagent les corps comme des hommes paresseux qui préfèrent le repos au travail. L'essence de l'inertie, c'est qu'un corps est incapable, de soi-même, de changer son état, c'est-à-dire, non-seulement de passer du mouvement au repos, mais aussi de passer du repos au mouvement.

Voilà donc l'essence des corps déterminée; elle est tout entière dans l'indivisible union de ces trois propriétés, étendue, impénétrabilité, inertie.

On voit que cette théorie est diamétralement opposée à celle de Leibniz. Suivant l'auteur de la *Théodicée*, la force fait l'essence et le fond des corps, comme de toute existence réelle. L'étendue n'est qu'un accident, un phénomène; la racine du composé est dans le simple : le simple, c'est la force, la monade, vraie substance des corps et de tout le reste. L'inertie n'est dans la nature qu'une apparence, la vie est partout.

L'opposition de la théorie d'Euler et de celle de l'école leibnizienne, c'est l'antique et immortelle opposition du mécanisme et du dynamisme : l'un qui, avec Démocrite, Platon, Descartes, Newton, Boerhaave, ne voit dans la nature corporelle, même aux degrés les plus élevés de l'organisation, qu'une masse inerte et sans vie, un assemblage

de particules réglées par les lois mathématiques du mouvement ; l'autre qui répand, ou pour mieux dire, qui contemple dans l'univers, avec Héraclite, avec Aristote, avec Leibniz, avec Stahl, l'admirable progrès, le développement infini de la force à travers les degrés successifs de l'échelle des êtres.

Euler se range très-résolument du côté du mécanisme ; et on ne s'étonnera pas qu'il le concilie avec le spiritualisme le plus pur, puisqu'il est dans les rangs de Descartes et de Platon.

La grande difficulté du mécanisme, c'est d'expliquer la prodigieuse variabilité des phénomènes de l'univers ; le tableau de la nature est un tableau changeant, où tout paraît pour disparaître dans un cercle de métamorphoses sans fin. Comment expliquer ce flux et ce reflux perpétuel avec des principes absolument inertes ?

Euler pose nettement la difficulté ; et s'il ne la résout pas, on ne peut contester qu'il ne la tourne d'une façon très-ingénieuse. C'est une sorte de tour de force, de défi jeté au sens commun, que d'expliquer comment un être inerte peut devenir un principe de mouvement ; que dis-je ? déployer des forces aussi grandes qu'on voudra, et même une force infinie. Euler ne recule pas devant ce problème. « Un corps, dit-il, ne peut être pénétré ; ce serait, pour lui, cesser d'être un corps. » Supposons donc qu'une bille vienne choquer une autre bille immobile sur un tapis : l'état de la première bille, c'est l'état de mouvement. Or, en vertu de son inertie, elle ne peut changer elle-même son état, et il est nécessaire qu'elle y persiste tant qu'elle n'aura pas reçu l'action d'une

cause étrangère. D'un autre côté, la seconde bille est en repos, et, en vertu de son inertie, il est nécessaire qu'elle s'y maintienne. Mais voilà une contradiction : la bille choquante doit nécessairement se mouvoir, mais elle ne le peut sans pénétrer la bille choquée. Il faut donc de deux choses l'une : ou qu'elle la pénètre, ce qui est absurde par la définition de l'essence des corps, ou qu'elle mette l'autre bille en mouvement, à moins qu'elle-même ne s'arrête ; mais, dans les deux derniers cas, il y a un changement d'état dans un corps produit par l'impénétrabilité et, pour ainsi dire, en dépit de l'inertie. Le problème est résolu. Il est prouvé qu'un corps peut devenir capable de changer l'état d'un autre corps. Maintenant, comme l'impossibilité d'être pénétré est absolue dans un corps et en quelque façon infinie, il s'ensuit que tout corps quelconque, le plus frêle qu'on voudra, est capable de résister à une force, si grande qu'elle soit, et de déployer, s'il le faut, une énergie infinie pour sauver son impénétrabilité en péril.

Peut-être ne serait-il pas impossible, en examinant cette théorie de près, de montrer ce qu'il y a d'artificiel et même de chimérique à transformer ainsi une impénétrabilité tout abstraite, toute logique, comme celle d'Euler, en une force vive et effective ; mais on doit reconnaître que jamais plus ingénieuse tentative n'a été faite pour échapper à la difficulté capitale du mécanisme.

Du reste, Euler n'abuse point de cette force qu'il introduit par un détour au sein de la matière ; il pense que les corps ne déploient jamais que la quantité de force strictement nécessaire pour résister à la pénétration. Il est ferme-

ment convaincu, lui aussi, sur les traces de Leibniz, que la nature est une économe sévère qui proportionne la dépense au résultat, et s'abstient de toute prodigalité inutile. C'est ici une des applications du *principe de la moindre action*, source de tant de querelles, et qu'Euler a constamment défendu, à côté de son ami Maupertuis, contre les attaques des esprits forts et les sarcasmes intarissables de Voltaire.

Il est parfaitement entendu que le système d'Euler implique tout au moins un premier mouvement, sans lequel tout le reste n'est plus concevable. Supposez, dans ce monde géométrique où règne l'inertie, supposez un instant de repos universel, et le monde est pour jamais immobile. Cette difficulté du mécanisme, sous laquelle se débattent vainement les matérialistes, ce postulat nécessaire n'embarrasse nullement le spiritualisme d'Euler. Il en triomphe, au contraire, pour confondre les athées, et montrer au-dessus du monde visible et matériel l'invisible et puissante main qui donna le premier branle à l'univers.

✿

Le problème de la nature des corps et de leur action les uns sur les autres étant ainsi résolu, Euler est en possession d'un des deux termes d'un problème plus vaste, celui de l'action réciproque des corps sur les esprits et des esprits sur les corps.

Il faut d'abord approfondir la nature des esprits. Suivant Euler, ce qui fait l'essence d'un être spirituel, c'est la liberté. Le défaut d'étendue, de divisibilité, n'est qu'un

caractère tout négatif, un trait de différence. La liberté est l'attribut positif, le trait caractéristique de l'esprit. Euler va jusqu'à dire que Dieu même ne saurait dépouiller un esprit de sa liberté, pas plus qu'un corps de son étendue. De là la possibilité et, en un sens, la nécessité du péché, avec le déplorable cortége de ses suites nécessaires, l'injustice, l'inégalité, la douleur. Mais la grâce de Dieu règle les motifs de l'action, et partant l'action elle-même ; sa sagesse en prévoit, sa puissance en détermine les suites, sa justice en punit les écarts, sa bonté ouvre un asile inviolable au malheur et donne à la vertu un prix infini.

Mais écartons cet ordre de problèmes qu'Euler touche d'une main ferme, mais discrète, et qu'il résout, sans les approfondir, avec le calme et la confiance d'une piété que le doute n'effleura jamais. Euler vient d'établir que l'essence des esprits c'est la liberté, et par conséquent l'activité; or, l'essence des corps, c'est l'inertie. Se peut-il concevoir qu'un être inétendu agisse sur un être étendu ; un être essentiellement actif, sur un être essentiellement inerte? Et si le fait est incontestable, comment l'expliquer?

C'est ici, si je ne me trompe, qu'éclate la faiblesse et l'insuffisance des vues de ce grand géomètre sur un problème où la physique et le calcul ne donnent aucune prise, ne fournissent aucune lumière. Si j'ose le dire, le sens métaphysique a manqué à Euler; et j'en trouve la preuve dans la solution équivoque, mesquine, et au fond tout illusoire, qu'il présente avec une sorte de confiance, du problème fondamental de la métaphysique.

Euler discute très-rapidement le système des *causes*

occasionnelles, et le rejette incontinent sans lui faire l'honneur d'une réfutation approfondie. Il se tourne ensuite contre le système de l'harmonie préétablie, et au milieu de beaucoup de plaisanteries sans portée, et d'accusations qui paraissent sans bonne foi, il dirige contre les leibniziens des objections d'une force et d'une solidité incontestables.

Le résultat de cette controverse est tout négatif. Euler rejette la théorie de Descartes et de Malebranche et celle de Leibniz. Mais quelle est la sienne ? Et d'abord en a-t-il une ?

Il est difficile de répondre à cette question. Tantôt Euler prétend que l'union de l'âme et du corps, et en général l'action réciproque des esprits sur les corps, est un mystère impénétrable, à jamais caché à nos faibles yeux, tantôt il essaie de soulever le voile, et, dans l'impuissance de découvrir une théorie qui lui soit propre, il a l'idée malheureuse de ressusciter la vieille doctrine de l'*influx physique*.

Singulière doctrine, en vérité ! Elle consiste à soutenir que l'âme agit physiquement sur le corps, et que le corps agit physiquement sur l'âme. Qu'est-ce à dire ? Le mot *physiquement* couvre-t-il ici quelque profondeur ? En fera-t-on sortir quelque lumière ? Non. Physiquement veut dire réellement. A ce compte, la théorie de l'influx physique se réduit à dire que l'âme et le corps agissent effectivement l'un sur l'autre. Entendons-nous bien sur ce point. Veut-on dire tout simplement que lorsque l'âme veut mouvoir le corps, le corps se meut en effet ; et que lorsqu'un corps extérieur frappe nos organes, notre âme est réellement affectée ? Mais dire cela, c'est poser la question, ce n'est pas

la résoudre. Le fait de l'influence de l'âme sur le corps et du corps sur l'âme n'est pas contesté ; c'est le comment du fait qu'il s'agit d'expliquer. Malebranche, Leibniz et tous les philosophes sont parfaitement d'accord sur le fait lui-même, ils ne diffèrent que sur le comment. C'est dans ce comment qu'un métaphysicien eût mis toute la question.

Or, le système de l'influx physique ne propose aucune explication intelligible du comment de la communication des substances. C'est donc un système vraiment dérisoire, et, avec tout le respect qu'on doit au génie mathématique d'Euler, on peut dire que cette résurrection qu'il a essayée d'un système à peine digne de ce nom, consiste au fond à résoudre le problème sans l'apercevoir, et à couvrir son aveuglement ou son ignorance du grand mot d'influx physique. En vérité, quand on est si sévère pour les conceptions de Descartes et de Leibniz, on devrait avoir la main moins malheureuse.

Ceci nous conduit à la polémique d'Euler contre la monadologie. Il paraît bien difficile de disculper ici cet esprit, ordinairement si sincère, d'un grave reproche : c'est d'avoir altéré, défiguré, je dirais presque travesti, la doctrine qu'il voulait combattre. Je sais que c'est à Wolff plutôt qu'à Leibniz, et aux wolffiens plutôt qu'à Wolff, qu'Euler s'adresse ; et je sais aussi que les wolffiens et Wolff lui-même n'avaient pas toujours été strictement fidèles à la pensée du maître. Mais qu'importe ? Il ne s'agit point ici d'une question de personnes, il s'agit d'un grand système philosophique. Ce système est celui des monades; et le père de la monadologie, c'est Leibniz. Il est injuste, il est inu-

tile, il est presque puéril de s'attaquer à des disciples qui peuvent répéter la lettre d'un système et n'en pas comprendre l'esprit. C'est l'esprit du système qu'il faut combattre, c'est l'homme de génie qui a conçu le système qui est le véritable adversaire ; c'est dans ses écrits qu'on doit aller chercher sa véritable pensée.

Que devient, hélas ! entre les mains d'Euler, cette grande pensée, qui a rempli et satisfait l'intelligence la plus étendue et la plus riche qui fut jamais ?

Je ne crois pas qu'il y ait une manière fausse d'entendre les monades qu'Euler n'ait préférée au vrai sens, hautement proclamé, de Leibniz. On peut se tromper grossièrement sur les monades à un premier aperçu, et les prendre pour des molécules, des atomes à la façon d'Épicure. Euler n'y manque pas. Il assure que « les monades ne diffèrent d'une poussière subtile que parce que les molécules de la poussière ne sont peut-être pas assez petites, et qu'il faudrait les diviser encore plus loin pour obtenir les véritables monades. » Euler nous raconte ensuite que les philosophes scolastiques ont aussi assimilé les esprits à des particules douées d'une agilité et d'une activité incomparables, et qu'ils ont même mis en question combien d'esprits pourraient danser sur la pointe d'une aiguille. Il ajoute avec un calme inconcevable que « les wolffiens sont à peu près de ce sentiment. » Mais voici qui passe toutes les bornes : Euler assure que dans la théorie des monades les esprits sont des particules, et, le croirait-on ? que Dieu même n'est plus qu'un atome [1].

1. « Les wolffiens, dit Euler en propres termes, représentant Dieu sous la forme d'un point, l'attachent à un certain lieu. »

Mais on peut encore charger la monadologie d'une autre absurdité ; en considérant la monade, non comme un corps très-menu, mais comme un infiniment petit, un abstrait mathématique, un point. Euler n'a point épargné cette nouvelle injure, cette nouvelle calomnie, à la doctrine de Leibniz. Tout à l'heure Euler combattait la monade à titre d'atome, de particule ; maintenant que cette série d'objections est épuisée, la monade-atome se métamorphose en monade-point géométrique, tout exprès apparemment pour donner matière à des objections nouvelles. Et voilà que le Dieu de Leibniz, le Dieu de la *Théodicée*, odieusement abaissé tout à l'heure au rang d'un corps, s'évanouit maintenant dans une abstraction géométrique.

Quel peut être l'objet d'une telle controverse ? Si les monades sont des atomes, vous combattez Démocrite et non pas Leibniz. Si elles sont des points, ce n'est pas non plus à Leibniz, c'est à Pythagore que vous avez affaire. Voulez-vous combattre Leibniz ; lisez ses livres, il vous dira que ses monades ne sont ni des atomes, ni des points, mais des forces : Leibniz va même au-devant des interprétations fausses, et il semble prévoir l'outrage réservé à son système. « Les monades, dit-il, sont des atomes, si l'on veut, mais non pas des *atomes de matière*, qui sont contraires à la raison. Il n'y a que les atomes de substance, c'est-à-dire les unités réelles et absolument destituées de parties, qui soient les sources des actions et les premiers principes absolus de la composition des choses, et comme les derniers éléments de l'analyse des substances [1]. » Un peu plus bas

1. *Système nouveau de la nature et de la communication des substances.*

il ajoute : « On pourrait appeler les monades des *points métaphysiques :* ils ont quelque chose de vital et une espèce de perception. »

Leibniz conclut enfin en ces termes : « Ainsi les points physiques ne sont indivisibles qu'en apparence ; les points mathématiques sont exacts, mais ce ne sont que des modalités : il n'y a que les points métaphysiques ou de substance (constitués par les formes ou âmes) qui soient exacts et réels ; et sans eux il n'y aurait rien de réel, puisque sans les véritables unités il n'y aurait point de multitude. »

Après des passages aussi précis, des explications aussi claires, comment justifier Euler ? Entre l'ignorance et la mauvaise foi le choix est pénible, et il faut cependant en faire un. Tout ce qu'on peut dire de plus spécieux, c'est qu'Euler a combattu les monades des wolffiens et non celles de Leibniz. Mais il y a à répliquer que l'histoire de la philosophie ne connaît qu'un seul système des monades, et c'est justement celui-là auquel Euler n'a pas songé.

Je ne crois pas nécessaire d'insister sur les autres parties de cette polémique. On en voit assez le caractère et la portée par les échantillons qui précèdent[1]. Il y aurait cependant de l'injustice à ne pas reconnaître qu'Euler mêle souvent à des objections banales et à des accusations injustes, des arguments d'un bon sens ingénieux et même d'une grande portée. C'est ainsi qu'il presse fortement les mona-

1. Je rappellerai seulement ici un des arguments d'Euler contre l'harmonie préétablie. Il suppose que, dans le système de Leibniz, lorsqu'un corps extérieur frappe les organes, l'âme est obligée de deviner ce choc, sans en être avertie par aucune impression ou représentation interne. Ainsi, dit-il, quand je lis dans la *Gazette* que le pape est mort, ce n'est pas la *Gazette* qui m'apprend cela ; c'est mon âme qui conjecture, d'après l'état de santé du pape, qu'il doit être mort.

distes sur la question de l'étendue. « Vous composez, leur dit-il, les corps avec les monades, mais les monades sont des zéros d'étendue; et un nombre de zéros, même infini, ne fait pas une quantité. » « Plusieurs esprits, ajoute vivement Euler, pourront bien former un conseil, mais non pas une étendue. » Voici un autre mot juste et piquant : « Les monadistes n'aiment pas à parler de l'étendue des corps, prévoyant qu'elle leur sera fatale. Ils ne nous parlent que des composés. »

La théorie des facultés intellectuelles, esquissée à grands traits par Euler, est assez d'accord avec le caractère et l'esprit de sa métaphysique. Il explique la perception extérieure en admettant que l'âme, présente en un point du cerveau, aperçoit les changements qui s'y opèrent et connaît l'existence du monde extérieur. « Ce petit changement, dit Euler, produit dans le corps calleux, est ensuite aperçu de l'âme, et elle en acquiert l'idée de l'odeur d'une rose. » Et il ajoute : « L'âme observe ce changement avec un certain sentiment agréable. » On a peine à comprendre qu'un esprit aussi exact se soit contenté d'une théorie aussi naïvement superficielle; on a peine à pardonner cette faiblesse à un adversaire aussi acharné de l'harmonie préétablie.

L'harmonie préétablie est un faux système, je le veux bien, mais enfin c'est un système. Mais qu'est-ce que le siége d'une âme qui n'a par hypothèse aucun rapport au lieu? Cela ne s'entend pas. On dit que l'âme agit en fait sur le corps calleux, origine de tous les nerfs; mais cela ne s'entend pas mieux. Peut-on *se représenter* par l'imagination

l'âme présente au cerveau? Ce serait donner à l'âme une figure. On nous propose donc de *concevoir* l'action de l'âme sur le cerveau? Mais, pour me la faire concevoir, il faudrait m'en expliquer le comment.

Du reste la théorie d'Euler sur la perception extérieure, sa réfutation de l'idéalisme, ses objections contre les idées-images, contiennent d'excellentes parties, et on y trouve répandues, avec plus de force et de précision, la plupart des vues dont on a récemment fait tant d'honneur à la philosophie écossaise. Tout le monde connaît l'ingénieux travail d'Euler sur les formes du raisonnement. Par une heureuse substitution des rapports géométriques aux rapports logiques, Euler a trouvé moyen de simplifier encore et de perfectionner une théorie qu'Aristote et les scolastiques paraissaient avoir portée à sa perfection.

Je ferai remarquer en terminant qu'Euler ne reconnaît que trois sources de nos connaissances, savoir : les sens, le raisonnement, et le témoignage. Mais le témoignage n'est pas une faculté distincte de l'esprit humain. Restent donc les sens et le raisonnement. Or les sens ne s'exercent que sous la condition de certaines notions, de certaines idées, de certaines formes sans lesquelles toute perception distincte est impossible; et le raisonnement suppose des principes supérieurs au raisonnement lui-même, des principes nécessaires que les sens sont incapables de lui fournir.

Que deviennent, dans la théorie d'Euler, ces hautes notions, ces premiers principes? Les aurait-il oubliés? L'oubli n'est pas heureux, puisque, dans l'analyse de la raison, ce qu'on oublie c'est l'essence même de la raison.

Je crains bien qu'Euler n'ait pas oublié, mais qu'il ait positivement écarté toute notion supérieure à l'expérience et au raisonnement. Cet empirisme idéologique serait assez d'accord avec le nominalisme qu'il professe ouvertement. A ses yeux, toute idée qui n'est point individuelle, même l'idée de l'espace, qui aurait dû trouver grâce devant un géomètre aussi profond, ne représente aucune réalité et n'a guère qu'une valeur nominale.

Nous retrouvons ici, comme partout ailleurs, le caractère un peu étroit des vues philosophiques d'Euler. On ne saurait lui refuser sans injustice une rare pénétration associée à un admirable bon sens, une certaine fécondité d'aperçus ingénieux, et surtout une netteté de conception incomparable. Mais, au total, Euler a été peut-être un esprit plus ferme qu'étendu, plus ingénieux que profond; et il semble que la nature, qui l'avait si richement doué comme géomètre, lui avait refusé le génie du métaphysicien.

E. S.

Un mot sur cette nouvelle édition des *Lettres à une Princesse d'Allemagne.*

Ces Lettres furent publiées pour la première fois à Pétersbourg, de 1768 à 1772, en 3 volumes in-8°. — En France, elles ont eu trois éditions : celle de Condorcet (1787 à 1789), qui est restée imparfaite ; celle de Labey (1812) ; enfin l'excellente édition, accompagnée de notes du plus grand intérêt, que nous devons à M. Cournot (1842, 2 volumes in-8°).

A l'exemple de Labey et de M. Cournot, j'ai suivi le texte original de l'édition *princeps*, que les éditeurs de 1787 avaient altéré.

J'ai emprunté à M. Cournot la division commode des Lettres d'Euler en trois parties, dont la deuxième est consacrée tout entière à la philosophie proprement dite, et les deux autres à la physique.

On trouvera un assez grand nombre de notes dans cette nouvelle édition. En général, j'ai pris pour règle de les faire très-courtes, et de n'en mettre qu'aux endroits où se rencontre une de ces erreurs positives que les progrès des sciences physiques permettent aujourd'hui au plus humble de redresser. Je termine en exprimant ici mes remercîments bien sincères à un des professeurs de mathématiques les plus distingués de l'Université, M. Philippe Schmit, pour les conseils et les soins dont il a bien voulu m'aider dans cette partie de mon travail.

ÉLOGE D'EULER,

PAR CONDORCET.

Léonard Euler, directeur de la classe de mathématiques dans l'Académie de Pétersbourg, et auparavant dans celle de Berlin; de la Société royale de Londres, des académies de Turin, de Lisbonne et de Bâle; associé étranger de celle des Sciences, naquit à Bâle, le 15 avril 1707, de Paul Euler et de Marguerite Brucker.

Son père, devenu en 1708 pasteur du village de Riechen près de Bâle, fut son premier instituteur, et eut bientôt le plaisir de voir ces espérances des talents et de la gloire d'un fils, si douces pour un cœur paternel, naître et se fortifier sous ses yeux et par ses soins.

Il avait étudié les mathématiques sous Jacques Bernoulli. On sait que cet homme illustre joignait à un grand génie pour les sciences une philosophie profonde, qui n'accompagne pas toujours ce génie, mais qui sert à lui donner plus d'étendue et à le rendre plus utile : dans ses leçons, il faisait sentir à ses disciples que la géométrie n'est pas une science isolée, et la leur présentait comme la base et la clef de toutes les connaissances humaines, comme lá science où l'on peut le mieux observer la marche de l'esprit, celle dont la culture exerce le plus utilement nos facultés, puisqu'elle donne à l'entendement de la force et de la justesse à la fois; enfin comme une étude également précieuse par le nombre ou la variété de ses applications, et par l'avantage de faire contracter l'habitude d'une méthode de raisonner, qui peut s'employer ensuite à la recherche des vérités de tous les genres et nous guider dans la conduite de la vie.

Paul Euler, pénétré des principes de son maître, enseigna les éléments des mathématiques à son fils, quoiqu'il le destinât à l'étude de la théologie; et lorsque le jeune Euler fut envoyé à l'université de Bâle, il se trouva digne de recevoir les leçons de Jean Bernoulli. Son application, ses dispositions heureuses, lui méritèrent bientôt

l'amitié de Daniel et de Nicolas Bernoulli, disciples et déjà rivaux de leur père; il eut même le bonheur d'obtenir celle du sévère Jean Bernoulli, qui voulut bien lui donner, une fois par semaine, une leçon particulière, destinée à éclaircir les difficultés qui se présentaient à lui dans le cours de ses lectures et de ses travaux : les autres jours étaient employés par Euler à se mettre en état de profiter de cette faveur signalée.

Cette méthode excellente empêchait son génie naissant de s'épuiser contre des obstacles invincibles, de s'égarer dans les routes nouvelles qu'il cherchait à s'ouvrir; elle guidait et secondait ses efforts, mais en même temps elle l'obligeait de déployer toutes ses forces, qu'il augmentait encore par un exercice proportionné à son âge et à l'étendue de ses connaissances.

Il ne jouit pas long-temps de cet avantage; et à peine eut-il obtenu le titre de maître-ès-arts que son père, qui le destinait à lui succéder, l'obligea de quitter les mathématiques pour la théologie. Heureusement cette rigueur ne fut que passagère : on lui fit aisément entendre que son fils était né pour remplacer dans l'Europe Jean Bernoulli, et non pour être pasteur de Riechen.

Un ouvrage que M. Euler fit à dix-neuf ans sur la mâture des vaisseaux, sujet proposé par l'Académie des sciences, obtint un accessit en 1727; honneur d'autant plus grand que le jeune habitant des Alpes n'avait pu être aidé par aucune connaissance pratique, et qu'il n'avait été vaincu que par M. Bouguer, géomètre habile, alors dans la force de son talent, et déjà depuis dix ans professeur d'hydrographie dans une ville maritime.

M. Euler concourait en même temps pour une chaire dans l'université de Bâle; mais c'est le sort qui prononce entre les savants admis à disputer ces places, et il ne fut pas favorable, nous ne disons point à M. Euler, mais à sa patrie, qui le perdit peu de jours après et pour toujours. Deux ans auparavant, Nicolas et Daniel Bernoulli avaient été appelés en Russie. M. Euler, qui les vit partir avec regret, obtint d'eux la promesse de chercher à lui procurer le même honneur, qu'il ambitionnait de partager, et il ne faut pas en être surpris. La splendeur de la capitale d'un grand empire, cet éclat qui, se répandant sur les travaux dont elle est le théâtre et sur les hommes qui l'habitent, semble ajouter à leur gloire, peut aisément séduire la jeunesse et frapper le citoyen libre, mais obscur et pauvre, d'une petite république. MM. Bernoulli furent fidèles à leur parole, et se donnèrent, pour avoir auprès d'eux un concurrent si redoutable, autant de soins que des hommes ordinaires en auraient pu prendre pour écarter leurs rivaux.

Le voyage de M. Euler fut entrepris sous de tristes auspices : il apprit bientôt que Nicolas Bernoulli avait déjà été victime de la rigueur du climat; et le jour même où il entra sur les terres de l'empire russe fut celui de la mort de Catherine Ire, événement qui parut d'abord menacer d'une dissolution prochaine l'Académie dont cette princesse, fidèle aux vues de son époux, venait d'achever la fondation. M. Euler, éloigné de sa patrie, n'ayant point, comme M. Daniel Bernoulli, à y rapporter un nom célèbre et respecté, prit la résolution d'entrer dans la marine russe : un des amiraux de Pierre Ier lui avait déjà promis une place, lorsque, heureusement pour la géométrie, l'orage élevé contre les sciences se dissipa. M. Euler obtint le titre de professeur, succéda en 1733 à M. Daniel Bernoulli, lorsque cet homme illustre se retira dans son pays, et, la même année, il épousa mademoiselle Gsell, sa compatriote, fille d'un peintre que Pierre Ier avait ramené en Russie au retour de son premier voyage. Dès lors, pour nous servir de l'expression de Bacon, M. Euler sentit qu'il avait donné des otages à la fortune, et que le pays où il pouvait espérer de former un établissement pour sa famille était devenu pour lui une patrie nécessaire. Né chez une nation où tous les gouvernements conservent au moins l'apparence et le langage des constitutions républicaines; où, malgré des distinctions plus réelles que celles qui séparent les premiers esclaves d'un despote du dernier de ses sujets, on a soigneusement gardé toutes les formes de l'égalité; où le respect qu'on doit aux lois s'étend jusqu'aux usages les plus indifférents, pourvu que l'antiquité ou l'opinion vulgaire les ait consacrés; M. Euler se trouvait transporté dans un pays où le prince exerce une autorité sans bornes; où la loi la plus sacrée des gouvernements absolus, celle qui règle la succession à l'empire, était alors incertaine et méprisée; où des chefs, esclaves du souverain, régnaient despotiquement sur un peuple esclave; et c'était dans le moment où cet empire, gouverné par un étranger ambitieux, défiant et cruel, gémissait sous la tyrannie de Biren, et offrait un spectacle aussi effrayant qu'instructif aux savants qui étaient venus chercher dans son sein la gloire, la fortune et la liberté de goûter en paix les douceurs de l'étude !

On sent tout ce que dut éprouver l'âme de M. Euler, lié à ce séjour par une chaîne qu'il ne pouvait plus rompre : peut-être doit-on à cette circonstance de sa vie cette opiniâtreté pour le travail dont il prit alors l'habitude, et qui devint son unique ressource dans une capitale où l'on ne trouvait plus que des satellites ou des ennemis du ministre, les uns occupés de flatter ses soupçons, les au-

tres de s'y dérober. Cette impression fut si forte sur M. Euler qu'il la conservait encore lorsqu'en 1741, l'année d'après la chute de Biren, dont la tyrannie fit place à un gouvernement plus modéré et plus humain, il quitta Pétersbourg pour se rendre à Berlin, où le roi de Prusse l'avait appelé. Il fut présenté à la reine-mère. Cette princesse se plaisait dans la conversation des hommes éclairés, et elle les accueillait avec cette familiarité noble qui annonce dans les princes le sentiment d'une grandeur personnelle, indépendante de leurs titres, et qui est devenue un des caractères de cette famille auguste. Cependant, la reine de Prusse ne put obtenir de M. Euler que des monosyllabes; elle lui reprocha cette timidité, cet embarras, qu'elle croyait ne pas mériter d'inspirer. *Pourquoi ne voulez-vous donc pas me parler?* lui dit-elle. *Madame*, répondit-il, *parce que je viens d'un pays où, quand on parle, on est pendu.*

Parvenu au moment de rendre compte des travaux immenses de M. Euler, j'ai senti l'impossibilité d'en suivre les détails, de faire connaître cette foule de découvertes, de méthodes nouvelles, de vues ingénieuses répandues dans plus de trente ouvrages publiés à part, et dans près de sept cents mémoires, dont environ deux cents, déposés à l'Académie de Pétersbourg avant sa mort, sont destinés à enrichir successivement la collection qu'elle publie.

Mais un caractère particulier m'a semblé le distinguer des hommes illustres qui, en suivant la même carrière, ont obtenu une gloire que la sienne n'a pas éclipsée, c'est d'avoir embrassé les sciences mathématiques dans leur universalité, d'en avoir successivement perfectionné les différentes parties, et, en les enrichissant toutes par des découvertes importantes, d'avoir produit une révolution utile dans la manière de les traiter. J'ai donc cru qu'en formant un tableau méthodique des différentes branches de ces sciences, en marquant pour chacune les progrès, les changements heureux qu'elle doit au génie de M. Euler, j'aurais du moins, autant que mes forces me le permettent, donné une idée plus juste de cet homme célèbre, qui, par la réunion de tant de qualités extraordinaires, a été pour ainsi dire un phénomène dont l'histoire des sciences ne nous avait encore offert aucun exemple.

L'algèbre n'avait été pendant long-temps qu'une science très-bornée : cette manière de ne considérer l'idée de la grandeur que dans le dernier degré d'abstraction où l'esprit humain puisse atteindre; la rigueur avec laquelle on sépare de cette idée tout ce qui, en occupant l'imagination, pourrait donner quelque appui ou quelque repos à l'intelligence; enfin l'extrême généralité des signes que cette science emploie la rendaient en quelque sorte trop étran-

gère à notre nature, trop éloignée de nos conceptions communes, pour que l'esprit humain pût aisément s'y plaire et en acquérir facilement l'habitude. La marche même des méthodes algébriques rebutait encore les hommes les plus propres à ces méditations · pour peu que l'objet qu'on poursuit soit compliqué, elles forcent de l'oublier totalement pour ne songer qu'à leurs formules; la route qu'on suit est assurée, mais le but où l'on veut arriver, le point d'où l'on est parti, disparaissent également aux regards du géomètre; et il a fallu long-temps du courage pour oser perdre la terre de vue et s'exposer sur la foi d'une science nouvelle. Aussi, en jetant les yeux sur les ouvrages des grands géomètres du siècle dernier, de ceux mêmes auxquels l'algèbre doit les découvertes les plus importantes, on verra combien peu ils étaient accoutumés à manier ce même instrument qu'ils ont tant perfectionné; et l'on ne pourra s'empêcher de regarder comme l'ouvrage de M. Euler la révolution qui a rendu l'analyse algébrique une méthode lumineuse, universelle, applicable à tout, et même facile.

Après avoir donné sur la forme des racines, des équations algébriques, sur leur solution générale, sur l'élimination, plusieurs théories nouvelles, et des vues ingénieuses ou profondes, M. Euler porta ses recherches sur le calcul des quantités transcendantes. Leibniz et les deux Bernoulli se partagent la gloire d'avoir introduit dans l'analyse algébrique les fonctions exponentielles et logarithmiques; Cotes avait donné le moyen de représenter par des sinus ou des cosinus les racines de certaines équations algébriques.

Un usage heureux de ces découvertes conduisit M. Euler à observer les rapports singuliers des quantités exponentielles et logarithmiques avec les transcendantes nées dans le cercle, et ensuite à trouver des méthodes au moyen desquelles, faisant disparaître de la solution des problèmes les termes imaginaires qui s'y seraient présentés et qui auraient embarrassé le calcul, quoiqu'on sût qu'ils dussent se détruire, et réduisant les formules à une expression plus simple et plus commode, il est parvenu à donner une forme entièrement nouvelle à la partie de l'analyse qui s'applique aux questions d'astronomie et de physique. Cette forme a été adoptée par tous les géomètres; elle est devenue d'un usage commun, et elle a produit dans cette partie du calcul à peu près la même révolution que la découverte des logarithmes avait produite dans les calculs ordinaires.

Ainsi, à certaines époques où, après de grands efforts, les sciences mathématiques semblent avoir épuisé toutes les ressources de l'esprit humain et atteindre le terme marqué à leurs progrès, tout

à coup une nouvelle méthode de calcul vient s'introduire dans ces sciences et leur donner une face nouvelle; bientôt on les voit s'enrichir rapidement par la solution d'un grand nombre de problèmes importants dont les géomètres n'avaient osé s'occuper, rebutés par la difficulté, et pour ainsi dire par l'impossibilité physique de conduire leurs calculs jusqu'à un résultat réel. Peut-être la justice exigerait-elle de réserver à celui qui a su introduire ces méthodes et les rendre usuelles une portion dans la gloire de tous ceux qui les emploient avec succès; mais du moins il a sur leur reconnnaissance des droits qu'ils ne pourraient contester sans ingratitude.

L'analyse des séries a occupé M. Euler dans presque toutes les époques de sa vie; c'est même une des parties de ses ouvrages où l'on voit briller le plus cette finesso, cette sagacité, cette variété de moyens et de ressources qui les caractérisent.

Les fractions continues, inventées par le vicomte Brouncker, paraissaient presque oubliées des géomètres : M. Euler en perfectionna la théorie, en multiplia les applications et en fit sentir toute l'importance.

Ses recherches, presque absolument neuves, sur les séries de produits indéfinis offrent des ressources nécessaires à la solution d'un grand nombre de questions utiles ou curieuses; et c'est surtout en imaginant ainsi de nouvelles formes de séries, et en les employant non-seulement à des approximations dont on est si souvent forcé de se contenter, mais aussi à la découverte de vérités absolues et rigoureuses, que M. Euler a su agrandir cette branche de l'analyse, aujourd'hui si vaste, et bornée avant lui à un petit nombre de méthodes et d'applications.

Le calcul intégral, l'instrument le plus fécond de découvertes que jamais les hommes aient possédé, a changé de face depuis les ouvrages de M. Euler; il a perfectionné, étendu, simplifié toutes les méthodes employées ou proposées avant lui; on lui doit la solution générale des équations linéaires, premier fondemont de ces formules d'approximation, si variées et si utiles. Une foule de méthodes particulières, fondées sur différents principes, sont répandues dans ses ouvrages et réunies dans son Traité du calcul intégral; là on le voit, par un heureux usage des substitutions, ou rappeler à une méthode connue des équations qui semblaient s'y refuser, ou réduire aux premières différentielles des équations d'ordres supérieurs; tantôt, en considérant la forme des intégrales, il en déduit les conditions des équations différentielles auxquelles elles peuvent satisfaire; et tantôt l'examen de la forme des facteurs qui rendent une différentielle complète le conduit à former des

classes générales d'équations intégrales : quelquefois une propriété particulière qu'il remarque dans une équation lui offre un moyen de séparer les indéterminées qui semblaient devoir y rester confondues; ailleurs, si une équation où elles sont séparées se dérobe aux méthodes communes, c'est en mêlant ces indéterminées qu'il parvient à connaître l'intégrale.

Au premier coup d'œil, le choix et la réussite de ces moyens peuvent sembler en quelque sorte appartenir au hasard; cependant un succès si fréquent et si sûr oblige de reconnaître une autre cause, et il n'est pas toujours impossible de suivre le fil délié qui a guidé le génie. Si, par exemple, on considère la forme des substitutions employées par M. Euler, on découvrira souvent ce qui a pu lui faire prévoir que cette opération produirait l'effet dont il avait besoin; et si on examine la forme que dans une de ses plus belles méthodes il suppose aux facteurs d'une équation du second ordre, on verra qu'il s'est arrêté à une de celles qui appartiennent particulièrement à cet ordre d'équations. A la vérité, cette suite d'idées qui dirige alors un analyste est moins une méthode dont il puisse développer la marche qu'une sorte d'instinct particulier dont il serait difficile de rendre compte; et souvent il aime mieux ne pas faire l'histoire de ses pensées que de s'exposer au soupçon d'en avoir donné un roman ingénieux et fait après coup.

M. Euler a observé que les équations différentielles sont susceptibles de solutions particulières qui ne sont pas comprises dans la solution générale. M. Clairaut a fait aussi la même remarque; mais M. Euler a montré depuis pourquoi ces intégrales particulières étaient exclues de la solution générale, et il est le premier qui se soit occupé de cette théorie, perfectionnée depuis par plusieurs géomètres célèbres, et dans laquelle le mémoire de M. de Lagrange, sur la nature de ces intégrales et leur usage dans la solution des problèmes, n'a plus rien laissé à désirer.

Nous citerons encore une partie de ce calcul, qui appartient presque en entier à M. Euler : c'est celle où l'on cherche des intégrales particulières pour une certaine valeur déterminée des inconnues que renferme l'équation. Cette théorie est d'autant plus importante que souvent l'intégrale générale se dérobe absolument à nos recherches, et que, dans les problèmes où une valeur approchée de l'intégrale ne suffit pas aux vues qu'on se propose, la connaissance de ces intégrales particulières peut suppléer à ce défaut. En effet, on connaît alors, du moins pour certains points, la valeur rigoureuse; et cette connaissance, unie à celle d'une valeur générale approchée, doit suffire à presque tous les besoins de l'analyse.

Personne n'a fait un usage plus étendu et plus heureux des méthodes qui donnent la valeur de plus en plus approchée d'une quantité déterminée par des équations différentielles et dont on a déjà une première valeur; et il s'est également occupé de donner un moyen direct de déduire immédiatement de l'équation même une valeur assez voisine de la vraie, pour que les puissances élevées de leur différence puissent être négligées : moyen sans lequel les méthodes d'approximation en usage parmi les géomètres ne pourraient s'étendre aux équations pour lesquelles les observations ou des considérations particulières ne donnent pas cette première valeur dont ces méthodes supposent la connaissance.

Ce que nous avons dit suffit pour montrer jusqu'à quel point M. Euler avait approfondi la nature des équations différentielles, la source des difficultés qui s'opposent à l'intégration, et la manière de les éluder ou de les vaincre; son grand ouvrage sur cet objet est non-seulement un recueil précieux de méthodes neuves et étendues, c'est encore une mine féconde de découvertes que tout homme, né avec quelque talent, ne peut parcourir sans en rapporter de riches dépouilles. L'on peut dire de cette partie des travaux de M. Euler, comme de beaucoup d'autres, que les méthodes qu'elle renferme serviront long-temps après lui à résoudre des questions importantes et difficiles, et que ses ouvrages produiront encore et plus d'une découverte et plus d'une réputation.

Le calcul aux différences finies n'était presque connu que par l'ouvrage obscur, mais plein de sagacité, de Taylor : M. Euler en fit une branche importante du calcul intégral, lui donna une notation simple et commode, et sut l'appliquer avec succès à la théorie des suites, à la recherche de leurs sommes ou de l'expression de leurs termes généraux, à celle de la racine des équations déterminées, à la manière d'avoir, par un calcul facile, la valeur approchée des produits ou des sommes indéfinies de certains nombres.

C'est à M. d'Alembert qu'appartient réellement la découverte du calcul aux différences partielles, puisque c'est à lui qu'est due la connaissance de la forme générale de leurs intégrales; mais dans les premiers ouvrages de M. d'Alembert on voyait plus le résultat du calcul que le calcul lui-même : c'est à M. Euler que l'on en doit la notation; il a su se le rendre propre, en quelque manière, par la profonde théorie qui l'a conduit à résoudre un grand nombre de ces équations, à distinguer les formes des intégrales pour les différents ordres et pour les différents nombres de variables, à réduire ces équations, lorsqu'elles ont certaines formes, à des inté-

grations ordinaires, à donner les moyens de rappeler à ces formes, par d'heureuses substitutions, celles qui s'en éloignent; en un mot, en découvrant, dans la nature des équations aux différences partielles, plusieurs de ces propriétés singulières qui en rendent la théorie générale si difficile et si piquante; qualités presque inséparables de la géométrie, où le degré de la difficulté est si souvent la mesure de l'intérêt qu'on prend à une question, de l'honneur qu'on attache à une découverte. L'influence d'une vérité nouvelle sur la science même, ou sur quelque application importante, est le seul avantage qui puisse balancer ce mérite de la difficulté vaincue, chez des hommes pour qui le plaisir d'apercevoir une vérité est toujours proportionné aux efforts qu'elle leur a coûté.

M. Euler n'avait négligé aucune partie de l'analyse; il a démontré quelques-uns des théorèmes de Fermat sur l'analyse indéterminée, et en a trouvé plusieurs autres non moins curieux, non moins difficiles à découvrir. La marche du cavalier au jeu d'échecs, et différents autres problèmes de situation, ont aussi piqué sa curiosité et exercé son génie : il mêlait aux recherches les plus importantes ces amusements, souvent plus difficiles, mais presque inutiles et aux progrès mêmes de la science et aux applications tentées jusqu'ici. M. Euler avait un esprit trop sage pour ne pas sentir l'inconvénient de se livrer long-temps à ces recherches purement curieuses, mais trop étendu en même temps pour ne pas voir que leur inutilité ne devait être que momentanée, et que le seul moyen de la faire cesser était de chercher à les approfondir et à les généraliser.

L'application de l'algèbre à la géométrie avait occupé, depuis Descartes, presque tous les géomètres du dernier siècle; mais M. Euler a prouvé qu'ils n'avaient pas, à beaucoupprès, tout épuisé. On lui doit de nouvelles recherches sur le nombre des points qui déterminent une ligne courbe dont le degré est connu, et sur celui des intersections des lignes de différents degrés; on lui doit également l'équation générale des courbes, dont les développées, les secondes, les troisièmes développées, en un mot les développées d'un ordre quelconque, sont semblables à la courbe génératrice, équation remarquable par son extrême simplicité.

La théorie générale des surfaces courbes était peu connue, et M. Euler est le premier qui l'ait développée dans un ouvrage élémentaire; il y ajouta celle des rayons osculateurs de ces surfaces, et il parvint à cette conclusion singulière que la courbure d'un élément de surface est déterminée par deux des rayons osculateurs des courbes formées par l'intersection de la surface et d'un plan



qui passe par la perpendiculaire au point donné; que ces rayons sont le plus grand et le plus petit de tous ceux qui appartiennent à la suite des courbes ainsi formées, et qu'enfin ils se trouvent toujours dans des plans perpendiculaires l'un à l'autre.

Il donna de plus une méthode pour déterminer les surfaces qui peuvent être développées sur un plan, et une théorie des projections géographiques de la sphère. Ces deux ouvages renferment une application de calcul des différences partielles à des problèmes géométriques, application qui peut s'étendre à beaucoup de questions intéressantes, et dont la première idée est due à M. Euler.

Ses recherches sur les courbes qui, tracées sur une sphère, sont rectifiables algébriquement, et sur les surfaces courbes dont les parties, correspondantes à des parties d'un plan donné, sont égales entre elles, l'ont conduit à une nouvelle espèce d'analyse, à laquelle il donne le nom d'*analyse infinitésimale indéterminée*, parce que, comme dans l'analyse indéterminée ordinaire, les quantités qui restent arbitraires sont assujetties à certaines conditions; et de même que l'analyse indéterminée a pu servir quelquefois à la perfection de l'algèbre, M. Euler regardait sa nouvelle analyse comme une science qui devait un jour être utile au progrès du calcul intégral.

En effet, ces questions particulières, qui ne tiennent pas au corps méthodique des sciences mathématiques, qui n'entrent point dans les applications qu'on peut en faire, ne doivent pas être regardées seulement comme des moyens d'exercer les forces ou de faire briller le génie des géomètres. Presque toujours, dans les sciences, on commence par cultiver séparément quelques parties isolées; à mesure que les découvertes successives se multiplient, les liaisons qui unissent ces parties se laissent successivement apercevoir; et le plus souvent c'est aux lumières qui résultent de cette réunion que sont dues les grandes découvertes qui font époque dans l'histoire de l'esprit humain.

La question de déterminer les courbes ou les surfaces pour lesquelles certaines fonctions indéfinies sont plus grandes ou plus petites que pour toutes les autres, avait exercé les géomètres les plus illustres du siècle dernier. Les solutions des problèmes du solide de la moindre résistance, de la courbe de plus vite descente, de la plus grande des aires isopérimètres, avaient été célèbres en Europe. La méthode générale de résoudre le problème était cachée dans ces solutions, et surtout dans celle que Jacques Bernoulli avait trouvée pour la question des isopérimètres, et qui lui avait donné sur son frère un avantage que tant de chefs-d'œuvre, enfantés de-

puis par Jean Bernoulli, n'ont pu faire oublier. Mais il fallait développer cette méthode, il fallait la réduire en formules générales, et c'est ce que fit M. Euler dans un ouvrage imprimé en 1744, et l'un des plus beaux monuments de son génie. Pour trouver ces formules, il avait été obligé d'employer la considération des lignes courbes. Quinze ans après, un jeune géomètre (M. de Lagrange), qui dans ses premiers essais annonçait un digne successeur d'Euler, résolut le même problème par une méthode purement analytique. M. Euler admira le premier ce nouvel effort de l'art du calcul, s'occupa lui-même d'exposer la nouvelle méthode, d'en présenter les principes, et d'en donner le développement avec cette clarté, cette élégance qui brillent dans tous ses ouvrages. Jamais le génie ne reçut et ne rendit un plus bel hommage, et jamais il ne se montra plus supérieur à ces petites passions que le partage d'un peu de gloire rend si actives et si violentes dans les hommes ordinaires.

Nous terminerons cet exposé des travaux de M. Euler sur l'analyse pure, en observant qu'il serait injuste de borner son influence sur les progrès des mathématiques aux découvertes sans nombre dont ses ouvrages sont remplis. Ces communications qu'il a ouvertes entre toutes les parties d'une science si vaste, ces vues générales, que souvent même il n'indique pas, mais qui n'échappent point à un esprit attentif; ces routes dont il s'est contenté d'ouvrir l'entrée et d'aplanir les premiers obstacles, sont encore autant de bienfaits dont les sciences s'enrichiront et dont la postérité jouira, en oubliant peut-être la main dont elle les aura reçus.

Le Traité de mécanique que M. Euler donna en 1736 est le premier grand ouvrage où l'analyse ait été appliquée à la science du mouvement. Le nombre des choses neuves, ou présentées d'une manière nouvelle, qui entrent dans ce Traité eût étonné les géomètres, si M. Euler n'en eût déjà publié séparément la plus grande partie.

Dans ses nombreux travaux sur la même science, il fut toujours fidèle à l'analyse; et l'usage heureux qu'il en a fait a mérité à cette méthode la préférence qu'elle a enfin obtenue sur toutes les autres.

La solution du problème où l'on cherche le mouvement d'un corps lancé dans l'espace et attiré vers deux points fixes est devenue célèbre par l'art avec lequel des substitutions, dont M. Euler savait si bien prévoir la forme, l'ont conduit à réduire aux quadratures, des équations que leur complication et leur forme pouvaient faire regarder comme insolubles.

Il appliqua l'analyse au mouvement d'un corps solide d'une figure donnée, et elle le conduisit à ce beau théorème déjà donné par Segner : qu'*un corps d'une figure quelconque peut tourner librement, d'un mouvement uniforme, autour de trois axes perpendiculaires entre eux;* à la connaissance de plusieurs propriétés singulières de ces trois axes principaux, et enfin aux équations générales du mouvement d'un corps quelles que soient sa figure et la loi des forces accélératrices qui agissent sur ses éléments et sur quelques-unes de ses parties.

Le problème des cordes vibrantes, et tous ceux qui appartiennent à la théorie du son ou des lois des oscillations de l'air, ont été soumis à l'analyse par les nouvelles méthodes dont il enrichit le calcul des différences partielles. Une théorie du mouvement des fluides, appuyée sur ce même calcul, étonna par la clarté qu'il a répandue sur des questions si épineuses, et la facilité qu'il a su donner à des méthodes fondées sur une analyse si profonde.

Tous les problèmes de l'astronomie physique qui ont été traités dans ce siècle ont été résolus par des méthodes analytiques particulières à M. Euler. Son calcul des perturbations de l'orbite terrestre, surtout sa Théorie de la lune, sont des modèles de la simplicité, de la précision auxquelles on peut porter ces méthodes; et, en lisant ce dernier ouvrage, on n'est pas moins étonné de voir jusqu'où un homme d'un grand génie, animé du désir de ne rien laisser à faire sur une question importante, peut pousser la patience et l'opiniâtreté du travail.

L'astronomie n'employait que des méthodes géométriques; M. Euler sentit tout ce qu'elle pouvait espérer des secours de l'analyse, et il le prouva par des exemples qui, imités depuis par plusieurs savants célèbres, pourront un jour faire prendre à cette science une forme nouvelle.

Il embrassa la science navale dans un grand ouvrage auquel une savante analyse sert de base, et où les questions les plus difficiles sont soumises à ces méthodes générales et fécondes qu'il savait si bien créer et employer. Long-temps après il publia sur la même matière un abrégé élémentaire de ce même Traité, où il renferme, sous la forme la plus simple, ce qui peut être utile à la pratique et ce que doivent savoir ceux qui se consacrent au service de mer. Cet ouvrage, quoique destiné par l'auteur aux seules écoles de l'empire de Russie, lui mérita une gratification du roi, qui jugea que des travaux utiles à tous les hommes avaient des droits à la reconnaissance de tous les souverains, et voulut montrer que, même aux extrémités de l'Europe, des talents si rares ne pouvaient

échapper ni à ses regards ni à ses bienfaits. M. Euler fut sensible à cette marque de l'estime d'un roi puissant; et elle reçut un nouveau prix à ses yeux, de la main qui la lui transmit : c'était celle de M. Turgot, ministre respecté dans l'Europe par ses lumières comme par ses vertus, fait pour commander à l'opinion plutôt que pour lui obéir, et dont le suffrage, toujours dicté par la vérité, et jamais par le désir d'attirer sur lui-même l'approbation publique, pouvait flatter un sage trop accoutumé à la gloire pour être encore sensible au bruit de sa renommée.

Dans les hommes d'un génie supérieur, l'extrême simplicité de caractère peut s'allier avec les qualités de l'esprit qui semblent le plus annoncer de l'habileté ou de la finesse; aussi M. Euler, malgré cette simplicité qui ne se démentit jamais, savait cependant distinguer, avec une sagacité toujours indulgente il est vrai, les hommages d'une admiration éclairée et ceux que la vanité prodigue aux grands hommes pour s'assurer du moins le mérite de l'enthousiasme.

Ses travaux sur la dioptrique sont fondés sur une analyse moins profonde, et on est tenté de lui en savoir gré, comme d'une espèce de sacrifice. Les différents rayons dont un rayon solaire est formé subissent, dans le même milieu, des réfractions différentes; séparés ainsi des rayons voisins, ils paraissent seuls ou moins mélangés, et donnent la sensation de couleur qui leur est propre : cette réfrangibilité varie dans les différents milieux pour chaque rayon, et suivant une loi qui n'est pas la même que celle de la réfraction moyenne dans ces milieux. Cette observation donnait lieu de croire que deux prismes inégaux et de différentes matières, combinés ensemble, pourraient détourner un rayon de sa route sans le décomposer, ou plutôt en replaçant, par une triple réfraction, les rayons élémentaires dans une direction parallèle.

De la vérité de cette conjecture pouvait dépendre, dans les lunettes, la destruction des iris qui colorent les objets vus à travers les verres lenticulaires. M. Euler était convaincu de la possibilité du succès, d'après cette idée métaphysique : que *si l'œil a été composé de diverses humeurs, c'est uniquement dans l'intention de détruire les effets de l'aberration de réfrangibilité;* il ne s'agissait donc que de chercher à imiter l'opération de la nature, et il en proposa les moyens d'après une théorie qu'il s'était formée. Ses premiers essais excitèrent les physiciens à s'occuper d'un objet qu'ils paraissaient avoir négligé : leurs expériences ne s'accordèrent point avec la théorie de M. Euler, mais elles confirmèrent les vues qu'il avait eues sur la perfection des lunettes. Instruit alors par eux des lois

2

de la dispersion dans les différents milieux, il abandonna ses premières idées, soumit au calcul les résultats de leurs expériences, et enrichit la dioptrique de formules analytiques simples, commodes, générales, applicables à tous les instruments qu'on peut construire.

On a encore de M. Euler quelques essais sur la théorie générale de la lumière, dont il cherchait à concilier les phénomènes avec les lois des oscillations d'un fluide, parce que l'hypothèse de l'émission des rayons en ligne droite lui paraissait présenter des difficultés insurmontables. La théorie de l'aimant, celle de la propagation du feu, les lois de la cohésion des corps et celles des frottements, devinrent aussi pour lui l'occasion de savants calculs, appuyés malheureusement sur des hypothèses plutôt que sur des expériences.

Le calcul des probabilités, l'arithmétique politique, furent encore l'objet de ses infatigables travaux; nous ne citerons ici que ses recherches sur les tables de mortalité, et sur les moyens de les déduire des phénomènes avec plus d'exactitude; sa méthode de prendre un milieu entre des observations; ses calculs sur l'établissement d'une caisse d'emprunt, dont le but est d'assurer aux veuves, aux enfants, une somme fixe ou une rente payable après la mort d'un mari ou d'un père : moyen ingénieux, imaginé par des géomètres philosophes, pour contre-balancer le mal moral qui résulte de l'établissement des rentes viagères, et pour rendre utiles aux familles les plus petites épargnes que leur chef peut faire sur son gain journalier ou sur les appointements soit d'une commission, soit d'une place.

On a vu dans l'éloge de M. Daniel Bernoulli qu'il avait partagé avec M. Euler seul la gloire d'avoir remporté treize prix à l'Académie des sciences; souvent ils travaillèrent pour les mêmes sujets, et l'honneur de l'emporter sur son concurrent fut encore partagé entre eux, sans que jamais cette rivalité ait suspendu les témoignages réciproques de leur estime ou refroidi le sentiment de leur amitié. En examinant les sujets sur lesquels l'un et l'autre ont obtenu la victoire, on voit que le succès a dépendu surtout du caractère de leur talent : lorsque la question exigeait de l'adresse dans la manière de l'envisager, un usage heureux de l'expérience, ou des vues de physique ingénieuses et neuves, l'avantage était pour M. Daniel Bernoulli; n'offrait-elle à vaincre que de grandes difficultés de calcul, fallait-il créer de nouvelles méthodes d'analyse, c'était M. Euler qui l'emportait. Et si l'on pouvait avoir la témérité de vouloir juger entre eux, ce ne serait pas entre

deux hommes qu'on aurait à prononcer, ce serait entre deux genres d'esprit, entre deux manières d'employer le génie.

Nous n'aurions donné qu'une idée très-imparfaite de la fécondité de M. Euler, si nous n'ajoutions à cette faible esquisse de ses travaux qu'il est peu de sujets importants pour lesquels il ne soit revenu sur ses traces, en refaisant même plusieurs fois son premier ouvrage; tantôt il substituait une méthode directe et analytique à une méthode indirecte; tantôt il étendait sa première solution à des cas qui lui avaient d'abord échappé, ajoutant presque toujours de nouveaux exemples, qu'il savait choisir avec un art singulier parmi ceux qui offraient ou quelque application utile ou quelque remarque curieuse : la seule intention de donner à son travail une forme plus méthodique, d'y répandre plus de clarté, d'y ajouter un nouveau degré de simplicité, suffisait pour le déterminer à des travaux immenses : jamais géomètre n'a tant écrit, et jamais aucun n'a donné à ses ouvrages un tel degré de perfection. Lorsqu'il publiait un mémoire sur un sujet nouveau, il exposait avec simplicité la route qu'il avait parcourue, il en faisait observer les difficultés ou les détours; et après avoir fait suivre scrupuleusement à ses lecteurs la marche de son esprit dans ses premiers essais, il leur montrait ensuite comment il était parvenu à trouver une route plus simple. On voit qu'il préférait l'instruction de ses disciples à la petite satisfaction de les étonner, et qu'il croyait n'en pas faire assez pour la science, s'il n'ajoutait aux vérités nouvelles dont il l'enrichissait l'exposition naïve des idées qui l'y avaient conduit.

Cette méthode d'embrasser ainsi toutes les branches des mathématiques, d'avoir, pour ainsi dire, toujours présentes à l'esprit toutes les questions et toutes les théories, était pour M. Euler une source de découverte fermée pour presque tous les autres, ouverte pour lui seul. Ainsi, dans la suite de ses travaux, tantôt s'offrait à lui une méthode singulière d'intégrer des équations en les différenciant, tantôt une remarque sur une question d'analyse ou de mécanique le conduisait à la solution d'une équation différentielle très-compliquée, qui échappait aux méthodes directes; c'est quelquefois un problème, en apparence très-difficile, qu'il résout en un instant par une méthode très-simple, ou un problème qui paraît élémentaire, et dont la solution a des difficultés qu'il ne peut vaincre que par de grands efforts; d'autres fois des combinaisons de nombres singuliers, des séries d'une forme nouvelle, lui présentent des questions piquantes par leur nouveauté ou le mènent à des vérités inattendues. M. Euler avertissait alors avec soin que c'était au hasard qu'il devait les découvertes de ce genre; ce n'était pas

en diminuer le mérite, car on voyait aisément que ce hasard ne pourrait arriver qu'à un homme qui joindrait à une vaste étendue de connaissances la sagacité la plus rare. D'ailleurs, peut-être ne faudrait-il pas le louer de cette candeur, quand même elle lui aurait coûté un peu de sa gloire : les hommes d'un grand génie ont rarement ces petites ruses de l'amour-propre qui ne servent qu'à rapetisser aux yeux des juges éclairés ceux qu'elles agrandissent dans l'opinion de la multitude; soit que l'homme de génie sente qu'il ne sera jamais plus grand qu'en se montrant tel qu'il est, soit que l'opinion n'ait pas sur lui cet empire qu'elle exerce avec tant de tyrannie sur les autres hommes.

Lorsqu'on lit la vie d'un grand homme, soit conviction de l'imperfection attachée à la faiblesse humaine, soit que la justice dont nous sommes capables ne puisse atteindre jusqu'à reconnaître dans nos semblables une supériorité dont rien ne nous console, soit enfin que l'idée de la perfection dans un autre nous blesse ou nous humilie encore plus que celle de la grandeur, il semble qu'on a besoin de trouver un endroit faible; on cherche quelque défaut qui puisse nous relever à nos propres yeux, et l'on est involontairement porté à se défier de la sincérité de l'écrivain, s'il ne nous montre pas cet endroit faible, s'il ne soulève point le voile importun dont ces défauts sont couverts.

M. Euler paraissait quelquefois ne s'occuper que du plaisir de calculer, et regarder le point de mécanique ou de physique qu'il examinait seulement comme une occasion d'exercer son génie et de se livrer à sa passion dominante. Aussi les savants lui ont-ils reproché d'avoir quelquefois prodigué son calcul à des hypothèses physiques, ou même à des principes métaphysiques dont il n'avait pas assez examiné ou la vraisemblance ou la solidité; ils lui reprochaient aussi de s'être trop reposé sur les ressources du calcul, et d'avoir négligé celles que pouvait lui donner l'examen des questions mêmes qu'il se proposait de résoudre. Nous conviendrons que le premier reproche n'était pas sans fondement; nous avouerons que, dans M. Euler, le métaphysicien, ou même le physicien, n'a pas été si grand que le géomètre; et l'on doit regretter sans doute que plusieurs parties de ses ouvrages, par exemple de ceux qu'il a faits sur la science navale, sur l'artillerie, n'aient presque été utiles qu'aux progrès de la science du calcul; mais nous croyons que le second reproche est beaucoup moins mérité. Partout, dans les ouvrages de M. Euler, on le voit occupé d'ajouter aux richesses de l'analyse, d'en étendre et d'en multiplier les applications; en même temps qu'elle paraît son instrument unique, on voit qu'il a voulu

en faire un instrument universel. Le progrès naturel des sciences mathématiques devait amener cette révolution; mais il l'a vue pour ainsi dire s'accomplir sous ses yeux, c'est à son génie que nous la devons : elle a été le prix de ses efforts et de ses découvertes. Ainsi, lors même qu'il paraissait abuser de l'analyse et en épuiser tous les secrets, pour résoudre une question dont quelques réflexions étrangères au calcul lui eussent donné une solution simple et facile, souvent il ne cherchait qu'à montrer les forces et les ressources de son art; et on doit lui pardonner, si quelquefois, en paraissant s'occuper d'une autre science, c'était encore au progrès et à la propagation de l'analyse que ses travaux étaient consacrés : puisque la révolution qui en a été le fruit est un de ses premiers droits à la reconnaissance des hommes et un de ses plus beaux titres à la gloire.

Je n'ai pas cru devoir interrompre le détail des travaux de M. Euler par le récit des événements très-simples et très-peu multipliés de sa vie.

Il s'établit à Berlin en 1741, et y resta jusqu'en 1766.

Madame la princesse d'Anhalt-Dessau, nièce du roi de Prusse, voulut recevoir de lui quelques leçons de physique; ces leçons ont été publiées sous le nom de *Lettres à une princesse d'Allemagne;* ouvrage précieux par la clarté singulière avec laquelle il a exposé les vérités les plus importantes de la mécanique, de l'astronomie physique, de l'optique et de la théorie des sons, et par des vues ingénieuses, moins philosophiques, mais plus savantes que celles qui ont fait survivre la *Pluralité des mondes* de Fontenelle au système des tourbillons. Le nom d'Euler, si grand dans les sciences, l'idée imposante que l'on se forme de ses ouvrages, destinés à développer ce que l'analyse a de plus épineux et de plus abstrait, donnent à ces Lettres si simples, si faciles, un charme singulier : ceux qui n'ont pas étudié les mathématiques, étonnés, flattés peut-être de pouvoir entendre un ouvrage d'Euler, lui savent gré de s'être mis à leur portée; et ces détails élémentaires des sciences acquièrent une sorte de grandeur par le rapprochement qu'on en fait avec la gloire et le génie de l'homme illustre qui les a tracés.

Le roi de Prusse employa M. Euler à des calculs sur les monnaies, à la conduite des eaux de *Sans-Souci*, à l'examen de plusieurs canaux de navigation. Ce prince n'était pas né pour croire que de grands talents et des connaissances profondes fussent jamais des qualités superflues ou dangereuses; et le bonheur de pouvoir être utile, un avantage réservé par la nature à l'ignorance et à la médiocrité.

2.

En 1750, M. Euler fit le voyage de Francfort pour y recevoir sa mère, veuve alors, et la ramener à Berlin : il eut le bonheur de l'y conserver jusqu'en 1761. Pendant onze ans elle jouit de la gloire de son fils comme le cœur d'une mère sait en jouir, et fut plus heureuse encore peut-être par ses soins tendres et assidus dont cette gloire augmentait le prix.

Ce fut pendant son séjour à Berlin que M. Euler, lié par la reconnaissance à M. de Maupertuis, se crut obligé de défendre ce principe de la moindre action, sur lequel le président de l'Académie de Prusse avait fondé l'espérance d'une si grande renommée. Le moyen que choisit M. Euler ne pouvait guère être employé que par lui : c'était de résoudre par ce principe quelques-uns des problèmes les plus difficiles de la mécanique : ainsi, dans les temps fabuleux, les dieux daignaient fabriquer, pour les guerriers qu'ils favorisaient, des armes impénétrables aux coups de leurs adversaires. Nous désirerions que la reconnaissance de M. Euler se fût bornée à une protection si noble et si digne de lui; mais on ne peut se dissimuler qu'il n'ait montré trop de dureté dans ses réponses à Kœnig, et c'est avec douleur que nous sommes obligés de compter un grand homme parmi les ennemis d'un savant malheureux et persécuté. Heureusement toute la vie de M. Euler le met à l'abri d'un soupçon plus grave : sans cette simplicité, cette indifférence pour la renommée, qu'il a montrées constamment, on aurait pu croire que les plaisanteries d'un illustre partisan de M. Kœnig (plaisanteries que M. de Voltaire lui-même a depuis condamnées à un juste oubli) avaient altéré le caractère du sage et paisible géomètre; mais, s'il fit alors une faute, c'est à l'excès seul de la reconnaissance qu'il faut l'attribuer, et c'est par un sentiment respectable qu'il a été injuste une seule fois dans sa vie.

Les Russes ayant pénétré dans la Marche de Brandebourg, en 1760, pillèrent une métairie que M. Euler avait auprès de Charlottenbourg. Mais le général Tottleben n'était pas venu faire la guerre aux sciences. Instruit de la perte que M. Euler avait essuyée, il s'empressa de la réparer, en faisant payer le dommage à un prix fort au-dessus de la valeur réelle; et il rendit compte de ce manque d'égards involontaire à l'impératrice Élisabeth, qui ajouta un don de quatre mille florins à une indemnité déjà beaucoup plus que suffisante. Ce trait n'a point été connu en Europe, et nous citons avec enthousiasme quelques actions semblables que les anciens nous ont transmises : cette différence dans nos jugements n'est-elle pas une preuve de ces progrès heureux de l'espèce humaine, que quelques écrivains s'obstinent à nier encore, appa-

remment pour éviter qu'on ne les accuse d'en avoir été les complices?

Le gouvernement de Russie n'avait jamais traité M. Euler comme un étranger : une partie de ses appointements lui fut toujours payée malgré son absence; et l'impératrice l'ayant appelé en 1766, il consentit à retourner à Pétersbourg.

En 1735, les efforts que lui avait coûté un calcul astronomique, pour lequel les autres académiciens demandaient plusieurs mois, et qu'il acheva en peu de jours, lui avaient causé une maladie, suivie de la perte d'un œil; il avait lieu de craindre une cécité complète, s'il s'exposait de nouveau dans un climat dont l'influence lui était contraire. L'intérêt de ses enfants l'emporta sur cette crainte; et si on songe que l'étude était pour M. Euler une passion exclusive, on jugera sans doute que peu d'exemples d'amour paternel ont mieux prouvé qu'il est la plus puissante et la plus douce de nos affections.

Il essuya peu d'années après le malheur qu'il avait prévu, mais il conserva, heureusement pour lui et pour les sciences, la faculté de distinguer de grands caractères tracés sur une ardoise avec de la craie; ses fils, ses élèves, copiaient ses calculs, écrivaient sous sa dictée le reste de ses mémoires; et si on en juge par leur nombre, et souvent par le génie qu'on y retrouve, on pourrait croire que l'absence encore plus absolue de toute distraction, et la nouvelle énergie que ce recueillement forcé donnait à toutes ses facultés, lui ont fait plus gagner que l'affaiblissement de sa vue n'a pu lui faire perdre de facilité et de moyens pour le travail.

D'ailleurs M. Euler, par la nature de son génie, par l'habitude de sa vie, s'était même involontairement préparé des ressources extraordinaires. En examinant ces grandes formules analytiques, si rares avant lui, si fréquentes dans ses ouvrages, dont la combinaison et le développement réunissent tant de simplicité et d'élégance, dont la forme même plaît aux yeux comme à l'esprit, on voit qu'elles ne sont pas le fruit d'un calcul tracé sur le papier, et que, produites tout entières dans sa tête, elles y ont été créées par une imagination également puissante et active. Il existe dans l'analyse (et M. Euler en a beaucoup multiplié le nombre) des formules d'une application commune et presque journalière; il les avait toujours présentes à l'esprit, les savait par cœur, les récitait dans la conversation; et M. d'Alembert, lorsqu'il le vit à Berlin, fut étonné d'un effort de mémoire qui supposait dans l'esprit de M. Euler tant de netteté et tant de vigueur à la fois. Enfin, sa facilité à calculer de tête était portée à un degré qu'on croirait à peine, si

l'histoire de ses travaux n'avait accoutumé aux prodiges. On l'a vu, dans l'intention d'exercer son petit-fils aux extractions de racines, se former la table des six premières puissances de tous les nombres, depuis 1 jusqu'à 100, et la conserver exactement dans sa mémoire. Deux de ses disciples avaient calculé jusqu'au dix-septième terme d'une série convergente assez compliquée; leurs résultats, quoique formés d'après un calcul écrit, différaient d'une unité au cinquantième chiffre; ils firent part de cette dispute à leur maître : M. Euler refit le calcul entier dans sa tête, et sa décision se trouva conforme à la vérité.

Depuis la perte de sa vue, il n'avait d'autre amusement que de faire des aimants artificiels et de donner des leçons de mathématiques à un de ses petits-fils, qui lui paraissait annoncer d'heureuses dispositions.

Il allait encore quelquefois à l'Académie, principalement dans les circonstances difficiles, où il croyait que sa présence pouvait être utile pour y maintenir la liberté. On sent combien un président perpétuel, nommé par la cour, peut troubler le repos de l'Académie, et tout ce qu'elle en doit craindre, lorsque, n'étant pas choisi dans la classe des savants, il ne se sent pas même arrêté par le besoin qu'a sa réputation du suffrage de ses confrères : comment des hommes uniquement occupés de leurs paisibles travaux, et ne sachant parler que le langage des sciences, pourraient-ils alors se défendre, surtout si, étrangers, isolés, éloignés de leur patrie, ils tiennent tout du gouvernement auquel ils ont à demander justice contre le chef que ce gouvernement même leur a donné?

Mais il est un degré de gloire où l'on se trouve au-dessus de la crainte : c'est lorsque l'Europe entière s'élèverait contre une injure personnelle faite à un grand homme qu'il peut sans risque déployer contre l'injustice l'autorité de sa renommée, et élever en faveur des sciences une voix qu'on ne peut empêcher de se faire entendre. M. Euler, tout simple, tout modeste qu'il était, sentait ses forces, et les a plus d'une fois heureusement employées.

En 1771, la ville de Pétersbourg éprouva un incendie terrible; les flammes gagnèrent la maison de M. Euler. Un Bâlois, M. Pierre Grimm (dont le nom mérite sans doute d'être conservé) apprend le danger de son illustre compatriote, aveugle et souffrant; il se précipite au travers des flammes, pénètre jusqu'à lui, le charge sur ses épaules et le sauve au péril de sa vie : la bibliothèque, les meubles de M. Euler furent consumés, mais les soins empressés du comte Orloff sauvèrent ses manuscrits; et cette attention, au

milieu du trouble et des horreurs de ce grand désastre, est un des hommages les plus vrais et les plus flatteurs que jamais l'autorité publique ait rendus au génie des sciences. La maison de M. Euler était un des bienfaits de l'impératrice · un nouveau bienfait en répara promptement la perte.

Il a eu de sa première femme treize enfants, dont huit morts en bas âge; ses trois fils lui ont survécu, et il eut le malheur de perdre ses deux filles dans la dernière année de sa vie : de trente-huit petits-enfants, vingt-six vivaient encore à l'époque de sa mort. En 1776, il épousa en secondes noces mademoiselle Gsell, sœur de père de sa première femme. Il avait gardé toute la simplicité de mœurs dont la maison paternelle lui avait donné l'exemple. Tant qu'il a conservé la vue, il rassemblait tous les soirs, pour la prière commune, ses petits-enfants, ses domestiques et ceux de ses élèves qui logeaient chez lui; il leur lisait un chapitre de la Bible, et quelquefois accompagnait cette lecture d'une exhortation.

Il était très-religieux : on a de lui une preuve nouvelle de l'existence de Dieu et de la spiritualité de l'âme; cette dernière même a été adoptée dans plusieurs écoles de théologie. Il avait conservé scrupuleusement la religion de son pays, qui est le calvinisme rigide; et il ne paraît pas qu'à l'exemple de la plupart des savants protestants il se soit permis d'adopter des opinions particulières et de se former un système de religion.

Son érudition était très-étendue, surtout dans l'histoire des mathématiques. On a prétendu qu'il avait porté sa curiosité jusqu'à s'instruire des progrès et des règles de l'astrologie, et que même il en avait fait quelques applications; cependant, lorsqu'en 1740 on lui donna ordre de faire l'horoscope du prince Yvan, il représenta que cette fonction appartenait à M. Kraaff, qui, en qualité d'astronome de la cour, fut obligé de la remplir. Cette crédulité, qu'on est étonné de trouver à cette époque dans la cour de Russie, était générale un siècle auparavant dans toutes les cours de l'Europe; celles de l'Asie n'en ont pas encore secoué le joug, et il faut avouer que, si on en excepte les maximes communes de la morale, il n'y a jusqu'ici aucune vérité qui puisse se glorifier d'avoir été adoptée aussi généralement et aussi long-temps que beaucoup d'erreurs ou ridicules ou funestes.

M. Euler avait étudié presque toutes les branches de la physique, l'anatomie, la chimie, la botanique; mais sa supériorité dans les mathématiques ne lui permettait pas d'attacher la plus petite importance à ses connaissances dans les autres genres, quoique

assez étendues pour qu'un homme plus susceptible des petitesses de l'amour-propre eût pu aspirer à une sorte d'universalité.

L'étude de la littérature ancienne et des langues savantes avait fait partie de son éducation, il en conserva le goût toute sa vie et n'oublia rien de ce qu'il avait appris; mais il n'eut jamais ni le temps ni le désir d'ajouter à ses premières études : il n'avait pas lu les poëtes modernes et savait par cœur l'*Enéide*. Cependant M. Euler ne perdait pas de vue les mathématiques, même lorsqu'il récitait les vers de Virgile; tout était propre à lui rappeler cet objet presque unique de ses pensées, et on trouve dans ses ouvrages un savant mémoire sur une question de mécanique dont il racontait qu'un vers de l'*Énéide* lui avait donné la première idée.

On a dit que, pour les hommes d'un grand talent, le plaisir du travail en était une récompense plus douce encore que la gloire : si cette vérité avait besoin d'être prouvé par des exemples, celui de M. Euler ne permettrait plus d'en douter.

Jamais, dans ses savantes discussions avec de célèbres géomètres, il n'a laissé échapper un seul trait qui puisse faire soupçonner qu'il se soit occupé des intérêts de son amour-propre. Jamais il n'a réclamé aucune de ses découvertes; et si on revendiquait quelque chose dans ses ouvrages, il s'empressait de réparer une injustice involontaire, sans même trop examiner si l'équité rigoureuse exigeait de lui un abandon absolu. Y avait-on relevé quelque erreur : si le reproche était mal fondé, il l'oubliait; s'il était juste, il se corrigeait et ne songeait même pas à observer que souvent le mérite de ceux qui se vantaient d'avoir aperçu ses fautes consistait seulement dans une application facile des méthodes que lui-même leur avait enseignées à des théories dont il avait aplani d'avance les plus grandes difficultés.

Presque toujours, les hommes médiocres cherchent à se faire valoir par une sévérité proportionnée à la haute idée qu'ils veulent donner de leur jugement ou de leur génie; inexorables pour tout ce qui s'élève au-dessus d'eux, ils ne pardonnent même pas à l'infériorité : on dirait qu'un sentiment secret les avertit du besoin qu'ils ont de rabaisser les autres. Au contraire, le premier mouvement de M. Euler le portait à célébrer les talents dès l'instant où quelques essais heureux frappaient ses regards, et sans attendre que l'opinion publique eût sollicité son suffrage. On le voit employer son temps à refaire, à éclaircir ses ouvrages, et même à résoudre des problèmes déjà résolus, qui ne lui laissaient plus que le mérite de plus d'élégance et de méthode, avec la même

ardeur, la même constance qu'il eût mises à poursuivre une vérité nouvelle dont la découverte aurait ajouté à sa renommée. D'ailleurs, si le désir ardent de la gloire eût existé au fond de son cœur, la franchise de son caractère ne lui eût pas permis d'en cacher les mouvements. Mais cette gloire, dont il s'occupait si peu, vint le chercher. La fécondité singulière de son génie frappait même ceux qui n'étaient pas en état d'entendre ses ouvrages : quoique uniquement livré à la géométrie, sa réputation s'étendit parmi les hommes les plus étrangers à cette science ; et il fut pour l'Europe entière non-seulement un grand géomètre, mais un grand homme. Il est d'usage, en Russie, d'accorder des titres militaires à des hommes très-étrangers au service ; c'est rendre hommage au préjugé qui faisait regarder cet état comme la seule profession noble, et avouer en même temps qu'on en reconnait toute la fausseté : quelques savants ont obtenu jusqu'au grade de général-major ; M. Euler n'en eut et n'en voulut avoir aucun. Mais quel titre pouvait honorer le nom d'Euler? Et alors le respect pour la conservation des droits naturels de l'homme impose en quelque sorte le devoir de donner l'exemple d'une sage indifférence pour ces hochets de la vanité humaine, si puérils mais si dangereux.

La plupart des princes du Nord, dont il était personnellement connu, lui ont donné des marques de leur estime, ou plutôt de la vénération qu'on ne pouvait refuser à la réunion d'une vertu si simple et d'un génie si vaste et si élevé. Dans le voyage que le prince royal de Prusse fit à Pétersbourg, il prévint la visite de M. Euler et passa quelques heures à côté du lit de cet illustre vieillard, ayant ses mains dans les siennes, et tenant sur ses genoux un petit-fils d'Euler, que ses dispositions précoces pour la géométrie avaient rendu l'objet particulier de sa tendresse paternelle.

Tous les mathématiciens célèbres qui existent aujourd'hui sont ses élèves : il n'en est aucun qui ne se soit formé par la lecture de ses ouvrages, qui n'ait reçu de lui les formules, la méthode qu'il emploie ; qui, dans ses découvertes, ne soit guidé et soutenu par le génie d'Euler. Il doit cet honneur à la révolution qu'il a produite dans les sciences mathématiques, en les soumettant toutes à l'analyse ; à sa force pour le travail, qui lui a permis d'embrasser toute l'étendue de ces sciences ; à l'ordre qu'il a su mettre dans ses grands ouvrages ; à la simplicité, à l'élégance de ses formules ; à la clarté de ses méthodes et de ses démonstrations, qu'augmentent encore la multitude et le choix de ses exemples. Ni Newton, ni Descartes même, dont l'influence a été si puissante, n'ont obtenu



cette gloire, et jusqu'ici, seul entre les géomètres, M. Euler l'a possédée tout entière et sans partage.

Mais, comme professeur, il a formé des élèves qui lui appartiennent plus particulièrement, et parmi lesquels nous citerons son fils aîné, que l'Académie des sciences a choisi pour le remplacer, sans craindre que cette succession honorable accordée au nom d'Euler, comme à celui de Bernoulli, pût devenir un exemple dangereux; un second fils, livré aujourd'hui à l'étude de la médecine, mais qui dans sa jeunesse a remporté dans cette Académie un prix sur les altérations du moyen mouvement des planètes; M. Lexell, qu'une mort prématurée vient d'enlever aux sciences; enfin M. Fuss, le plus jeune de ses disciples, le compagnon de ses derniers travaux, qui, envoyé de Bâle à M. Euler par M. Daniel Bernoulli, s'est montré digne, par ses ouvrages, du choix de Bernoulli et des leçons d'Euler, et qui, après avoir rendu dans l'Académie de Pétersbourg un hommage public à son illustre maître, vient de s'unir à sa petite-fille.

De seize professeurs attachés à l'Académie de Pétersbourg, huit avaient été formés par lui; et tous, connus par leurs ouvrages et décorés de titres académiques, se glorifiaient de pouvoir y ajouter celui de disciple d'Euler.

Il avait conservé toute sa facilité et, en apparence, toutes ses forces; aucun changement n'annonçait que les sciences fussent menacées de le perdre. Le 7 septembre 1783, après s'être amusé à calculer sur une ardoise les lois du mouvement ascensionnel des machines aérostatiques, dont la découverte récente occupait alors toute l'Europe, il dîna avec M. Lexell et sa famille, parla de la planète d'Herschell et des calculs qui en déterminent l'orbite; peu de temps après, il fit venir son petit-fils, avec lequel il badinait en prenant quelques tasses de thé, lorsque tout à coup la pipe qu'il tenait à la main lui échappa, et il cessa de calculer et de vivre.

Telle fut la fin d'un des hommes les plus grands et les plus extraordinaires que la nature ait jamais produits; dont le génie fut également capable des plus grands efforts et du travail le plus continu; qui multiplia ses productions au delà de ce qu'on eût osé attendre des forces humaines, et qui cependant fut original dans chacune; dont la tête fut toujours occupée et l'âme toujours calme; qui enfin, par une destinée malheureusement trop rare, réunit et mérita de réunir un bonheur presque sans nuage à une gloire qui ne fut jamais contestée.

Sa mort a été regardée comme une perte publique, même dans le pays qu'il habitait : l'Académie de Pétersbourg a porté solen-

nellement son deuil et lui a décerné à ses frais un buste de marbre qui doit être placé dans une de ses salles d'assemblées; elle lui avait déjà rendu pendant sa vie un honneur plus singulier. Dans un tableau allégorique, la Géométrie s'appuie sur une planche chargée de calculs, et ce sont les formules de sa nouvelle Théorie de la lune que l'Académie a ordonné d'y inscrire. Ainsi, un pays qu'au commencement de ce siècle nous regardions encore comme barbare apprend aux nations les plus éclairées de l'Europe à honorer la vie des grands hommes et leur mémoire récente; il donne à ces nations un exemple que plusieurs d'entre elles auraient à rougir, peut-être, de n'avoir su prévenir, ni même imiter.



LETTRES D'EULER

A UNE PRINCESSE D'ALLEMAGNE

SUR DIVERS SUJETS

DE PHYSIQUE ET DE PHILOSOPHIE.

PREMIÈRE PARTIE.

LETTRE PREMIÈRE.

De l'étendue.

MADAME,

Comme l'espérance de pouvoir continuer à Votre Altesse mes instructions dans la géométrie semble de nouveau être reculée, ce qui me cause un très-sensible chagrin, je souhaiterais y pouvoir suppléer par écrit, autant que la nature des objets le permet. J'en ferai un essai en expliquant à Votre Altesse la juste idée qu'on doit se former de la grandeur, en y comprenant tant les plus petites que les plus grandes étendues que nous découvrons actuellement dans le monde. Et d'abord il faut se fixer une certaine mesure proportionnée à nos sens, dont nous avons une juste idée, comme par exemple celle d'un pied. Cette longueur étant une fois établie et mise devant les yeux, elle nous peut servir à connaître toutes les longueurs, tant les plus grandes que les plus petites : celles-là, en déterminant combien de pieds elles renferment; et celles-ci, en déterminant qu'elle partie d'un pied leur convient. Car ayant l'idée d'un pied, on en a une aussi de sa moitié, de son quart, de sa douzieme partie, qu'on nomme un pouce; de sa centième partie et de sa millième ; laquelle est si petite qu'elle échappe presque à la vue. Mais il faut considérer qu'il y a même des animaux qui ne sont pas plus grands, ayant leurs membres, dans lesquels coule leur sang, et qui renferment apparemment encore d'autres insectes vivants, qui, à leur

égard, sont aussi petits qu'eux-mêmes par rapport à nous; d'où l'on comprend que les plus petites quantités existent actuellement au monde, et qu'elles se trouvent divisées en des parties infiniment plus petites. Ainsi, par exemple, quoique la dix-millième partie d'un pied soit insensible à notre égard, elle surpasse la grandeur d'un animal entier, et lui devrait sembler fort grande, s'il avait quelque connaissance. Mais passons de ces petites quantités, où notre esprit se perd, à de plus grandes. Votre Altesse connaît la longueur d'un mille; on en compte dix-huit d'ici à Magdebourg : on estime un mille de 24,000 pieds[1], et on s'en sert pour mesurer la distance des lieux sur la terre, pour épargner les trop grands nombres, si l'on voulait se servir du pied. Ainsi, sachant qu'un mille est de 24,000 pieds, quand on dit que Magdebourg est éloigné de Berlin de 18 milles, on a une idée plus claire que si l'on disait que cette distance est de 432,000 pieds, ce grand nombre éblouissant presque notre entendement. Pareillement on aura une idée juste de la grandeur de toute la terre, quand on saura que le contour de la terre contient 5,400 milles. Or la terre ayant la figure d'un globe, le diamètre de ce globe est estimé à 1,720 milles; ce qui nous fournit une juste idée du diamètre de la terre, dont on se sert depuis pour mesurer les grandes distances qu'on découvre dans les cieux. Des corps célestes, c'est la lune qui nous approche le plus : sa distance de la terre n'étant environ que de 30 diamètres de la terre, ce qui fait 51,600 milles, ou bien 1,238,400,000 pieds; mais la première mesure de 30 diamètres de la terre est la plus claire. Le soleil est environ 300 fois plus éloigné que la lune; et partant sa distance de 9,000 diamètres de la terre nous donne une connaissance plus évidente, que si nous la voulions exprimer en milles ou même en pieds. Votre Altesse sait que la terre tourne autour du soleil dans l'espace d'un an, et que le soleil demeure en repos. Or il y a, outre la terre, encore cinq autres corps semblables qui tournent pareillement autour du soleil, mais à des distances, ou plus petites, comme Mercure et Vénus, ou plus grandes, comme Mars, Jupiter et Saturne, qu'on nomme les *planètes*[2]. Toutes les autres étoiles que nous voyons, excepté les comètes, sont appelées *fixes*, dont la distance est incomparablement plus grande que celle du soleil. Leurs distances de nous sont sans doute extrêmement inégales; de là vient que quelques-unes paraissent plus grandes que les autres. Mais celle qui est la plus proche est certainement

1. Le pied de Berlin est de 309 millimètres.

2. A l'époque où écrivait Euler, les planètes *Uranus*, *Vesta*, *Junon*, *Cérès* et *Pallas* n'étaient pas encore découvertes.

plus de 5,000 fois plus éloignée que le soleil [1], et partant sa distance surpasse 45,000,000 de diamètres de la terre, et en milles elle serait de 77,400,000,000; enfin le nombre étant multiplié par 24,000 donnera cette prodigieuse distance exprimée en pieds. Ce n'est encore que la distance des étoiles fixes qui sont les plus proches de nous, et les plus éloignées que nous voyons seront bien encore cent fois plus éloignées. Cependant on s'imagine que toutes ces étoiles, prises ensemble, ne constituent qu'une très-petite partie de l'univers tout entier, à l'égard duquel ces terribles distances ne sont pas plus grandes qu'un grain de sable par rapport à la terre. Toute cette immensité est l'ouvrage du Tout-Puissant, qui gouverne également les plus grands corps comme les plus petits, et qui dirige le succès des armes auquel nous sommes intéressés [2].

Berlin, 19 avril 1760.

LETTRE II.

De la vitesse.

Dans l'espérance que Votre Altesse agréera la continuation de mes instructions, dont j'ai pris la liberté de lui présenter un échantillon l'ordinaire passé, je m'en vais développer l'idée de la vitesse, qui est une espèce particulière de grandeur, étant susceptible du plus ou du moins. Lorsqu'une chose est transportée ou qu'elle passe d'un lieu à un autre, on lui attribue une vitesse. Qu'un courrier à cheval et un messager à pied passent de Berlin à Magdebourg, on conçoit dans l'un et l'autre une certaine vitesse, mais on dit que la vitesse du premier est plus grande que celle du dernier. Il s'agit donc d'examiner en quoi consiste la différence que nous mettons entre ces deux vitesses. Ce n'est pas le chemin, qui est le même pour le courrier et le messager; mais la différence se trouve visiblement dans le temps que l'un et l'autre emploie à faire le même chemin. La vitesse du courrier est donc plus grande, puis-

1. Jusqu'à ces derniers temps les astronomes n'étaient point parvenus à fixer avec précision la distance de la terre aux étoiles. M. Bessel, de Kœnigsberg, a réussi le premier dans cette difficile entreprise. Il a trouvé pour la parallaxe de la 61[e] étoile de la constellation du Cygne *un tiers de seconde*, ou, plus exactement, 0'', 31; d'où il suit que cette étoile est six cent mille fois plus éloignée de la terre que la terre ne l'est du soleil.

(Voyez la notice de M. Arago sur W. Herschel, dans l'*Annuaire du Bureau des Longitudes*, année 1842, p. 384 et suiv.)

2. Allusion à la guerre de *Sept Ans*.

qu'il emploie moins de temps à parcourir le chemin de Berlin à Magdebourg; et la vitesse du messager est plus petite, puisqu'il emploie plus de temps à faire le même chemin : de là il est clair que, pour se former une juste idée de la vitesse, il faut avoir égard à deux espèces de quantité à la fois, c'est-à-dire au chemin qui est parcouru et au temps écoulé. Ainsi un corps qui parcourt en même temps un double chemin a la vitesse double; et s'il parcourt en même temps un chemin trois fois plus grand, sa vitesse est estimée trois fois plus grande, et ainsi de suite. On connaîtra donc la vitesse d'un corps quand on sait le chemin qu'il parcourt dans un certain temps. Ainsi, pour connaître la vitesse de ma marche quand je vais à Lytzow [1], j'ai observé que je fais 120 pas dans une minute; or un de mes pas vaut deux pieds et demi : donc ma vitesse est telle que je parcours dans une minute un chemin de 300 pieds. Et dans une heure je parcours un chemin soixante fois plus grand, ou bien de 18,000 pieds; ce qui n'est pas encore un mille, qui, contenant 24,000 pieds, demanderait une heure et 20 minutes : donc, si je voulais marcher d'ici à Magdebourg, il me faudrait employer précisément 24 heures. Voilà une juste idée de la vitesse dont je suis capable de marcher; et de là on comprend aisément ce que c'est qu'une vitesse ou plus grande ou plus petite. Ainsi, si un courrier allait d'ici à Magdebourg en 12 heures, sa vitesse serait deux fois plus grande que la mienne; et s'il allait en 8 heures, sa vitesse serait trois fois plus grande. Nous remarquons une très-grande différence parmi les vitesses dans ce monde. Une tortue donne un exemple d'une très-petite vitesse; si elle ne fait qu'un pied dans une minute, sa vitesse est 300 fois plus petite que la mienne, puisque je fais 300 pieds dans une minute. Or nous connaissons aussi des vitesses beaucoup plus grandes. Celle du vent est très-variable : un vent médiocre fait 10 pieds dans une seconde, ou 600 pieds dans une minute; il marche donc deux fois plus vite que moi. Un vent qui parcourt 20 pieds dans une seconde, ou 1,200 dans une minute, est déjà passablement fort; or un vent qui fait 50 pieds dans une seconde est extrêmement fort, quoique sa vitesse ne soit que 10 fois plus grande que la mienne, et qu'il lui faille 2 heures et 24 minutes pour souffler d'ici à Magdebourg.

Après, vient la vitesse d'un son, qui fait 1,000 pieds dans une seconde, et partant 60,000 pieds dans une minute. Elle est donc 200 fois plus grande que la vitesse dont je marche; et si l'on tirait un canon à Magdebourg, et qu'il fût possible que le bruit passât jusqu'à Berlin, il n'arriverait qu'après 7 minutes de temps.

1. Village à une lieue de Berlin.

Un boulet de canon se meut à peu près avec la même vitesse; mais quand on emploie la plus grande charge, on compte qu'il pourrait bien parcourir 2,000 pieds dans une seconde ou 120,000 dans une minute. Cette vitesse nous paraît prodigieuse, quoiqu'elle ne surpasse que 400 fois celle dont je marche à Lytzow, et c'est aussi la plus grande vitesse que nous apercevions ici-bas sur la terre. Mais il y a dans les cieux des vitesses beaucoup plus grandes, quoique les mouvements nous en paraissent fort tranquilles. Votre Altesse sait que la terre tourne autour de son axe dans l'espace de 24 heures; donc sous l'équateur cette vitesse parcourt 5,400 milles dans 24 heures, pendant que moi je n'en saurais parcourir que 18 milles. Cette vitesse est donc 300 fois plus grande que la mienne, et partant, plus petite que la plus grande vitesse d'un boulet de canon. Or la terre se meut autour du soleil dans l'espace d'un an, et avec cette vitesse elle parcourt 128,250 milles dans 24 heures; donc cette vitesse est encore dix-huit fois plus rapide que celle d'un boulet de canon. La plus grande vitesse que nous connaissions est sans doute celle de la lumière, qui parcourt 2,000,000 milles chaque minute, et qui surpasse celle d'un boulet de canon 400,000 fois.

22 avril 1760.

LETTRE III.

Du son et de la vitesse.

Les éclaircissements sur les divers degrés de vitesse que j'ai pris la liberté de présenter à Votre Altesse, me conduisent à la considération du son, ou d'un bruit quelconque en général; ayant remarqué qu'il s'écoule toujours quelque temps avant qu'il parvienne jusqu'à nos oreilles, et que ce temps est d'autant plus long que le lieu où le son est produit est éloigné de nous : en sorte que, pour se communiquer à une distance de 1,000 pieds, il lui faut une seconde de temps.

Quand on tire un canon, ceux qui en sont éloignés n'entendent le bruit que quelque temps après qu'ils ont vu la flamme de la poudre. Ceux qui sont éloignés d'un mille ou de 24,000 pieds n'entendent le bruit que 24 secondes après la vue du feu. Votre Altesse aura aussi bien souvent remarqué que le bruit du tonnerre ne parvient à nos oreilles que quelque temps après l'éclair : et c'est de là qu'on peut juger à quelle distance de nous se trouve l'endroit

où le tonnerre est engendré. Si nous observons, par exemple, qu'il s'écoule 20 secondes entre l'éclair et le tonnerre, nous pouvons conclure que le siége du tonnerre est 20 fois mille pieds éloigné de nous, en comptant pour chaque seconde de temps mille pieds de distance. Cette belle propriété nous mène à la question en quoi le son consiste? si la nature du son est semblable à celle de l'odeur? ou si le son est répandu de la même manière du corps sonore qu'une fleur répand son odeur en remplissant l'air de subtiles exhalaisons propres à exciter le sens de notre odorat? On peut avoir eu cette pensée dans l'antiquité, mais à présent nous sommes bien convaincus que lorsqu'une cloche est frappée il n'en sort rien du tout qui soit transporté dans nos oreilles, ou bien que tout son corps qui sonne ne perd rien de sa substance. On n'a qu'à regarder une cloche lorsqu'elle est frappée, ou une corde lorsqu'elle est pincée, pour s'apercevoir que le corps se trouve alors dans un tremblement ou ébranlement dont toutes ses parties sont agitées. Et tout corps qui est susceptible d'un tel ébranlement dans ses parties, produit aussi un son. Dans une corde, lorsqu'elle n'est pas trop mince, on peut voir ces ébranlements ou vibrations par lesquelles la corde tendue ACB (*fig.* 1) passe alternativement dans la situation AMB et ANB, que j'ai représentées beaucoup plus sensiblement qu'elles n'arrivent en effet. Ensuite il faut observer que ces vibrations mettent l'air voisin dans une semblable vibration, qui se communique successivement aux parties plus éloignées de l'air, jusqu'à ce qu'elles viennent frapper l'organe de notre oreille. C'est donc l'air qui reçoit de telles vibrations, qui transporte le son jusqu'à nos oreilles : d'où il est clair que la perception d'un son n'est autre chose que lorsque nos oreilles sont frappées par l'ébranlement qui se trouve dans l'air qui se communique à notre organe de l'ouïe; et quand nous entendons le son d'une corde pincée, nos oreilles en reçoivent autant de coups que la corde a fait de vibrations en même temps. Ainsi, si la corde fait 100 vibrations dans une seconde, l'oreille en reçoit aussi 100 coups dans une seconde, et la perception de ces coups est ce qu'on nomme un *son*. Lorsque ces coups se suivent également les uns les autres, ou que leurs intervalles sont tous égaux, le son est régulier et tel qu'on l'exige dans la musique; mais quand ces coups se succèdent inégalement, ou que leurs intervalles sont inégaux entre eux, il en résulte un bruit irrégulier, tout à fait impropre pour la musique. Quand je considère un peu plus soigneusement les sons de musique, dont les vibrations se font également, je remarque

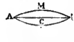


Fig. 1.

d'abord que lorsque les vibrations, ainsi que les coups dont l'oreille est frappée, sont plus ou moins forts, il n'en résulte d'autre différence dans le son si ce n'est qu'il devient plus ou moins fort, et c'est la différence que les musiciens indiquent par les mots *forte* et *piano*. Mais une différence beaucoup plus essentielle est lorsque les vibrations sont plus ou moins rapides ou qu'il en arrive plus ou moins dans une seconde. Ainsi, quand une corde achève 100 vibrations dans une seconde, et une autre corde 200 vibrations dans une seconde, leurs sons seront essentiellement différents entre eux : le premier sera plus grave ou plus bas, et l'autre plus aigu ou plus haut. Voilà donc la véritable différence entre les sons graves et aigus, sur laquelle roule toute la musique, qui enseigne à mêler des sons qui diffèrent entre eux par rapport au grave et à l'aigu, mais unis tellement ensemble qu'il en résulte une agréable harmonie. Or, dans les sons graves, il y a moins de vibrations en même temps que dans les sons aigus, et chaque son sur le clavecin renferme un nombre certain et déterminé de vibrations qui s'achèvent dans une seconde. Ainsi le son qui est marqué par la lettre C [1] rend à peu près 100 vibrations dans une seconde, et le son marqué par la lettre $\bar{\bar{c}}$ rend 1,600 vibrations dans une seconde. Donc une corde qui tremble 100 fois dans une seconde donnera précisément le son C; et si elle ne tremblait que 50 fois, le son serait encore plus bas ou plus grave. Or, à l'égard de nos oreilles, il y a des limites au delà desquelles les sons ne sont plus perceptibles. Il semble que nous ne saurions plus sentir un son qui fait moins de 20 vibrations dans une seconde, à cause de la trop grande *basse*, ni un son qui ferait dans une seconde plus de 4,000 vibrations, à cause de sa trop grande hauteur [2].

26 avril 1760.

1. Euler désigne par les lettres

C, D, E, F, G, A, H,

les sons de l'échelle diatonique

ut, ré, mi, fa, sol, la, si.

Il désigne par *c* l'octave du son C, par $\bar{c}$ la double octave, et ainsi de suite. Pour écrire l'échelle chromatique, il emploie les caractères suivants :

C, Cs, D, Ds, E, F, Fs, G, Gs, A, B, H.

ut, ut♯, ré, ré♯, mi, fa, fa♯, sol, sol♯, la, si♭, si.

2. Il résulte des expériences de Wollaston et de celles de Savart : 1° que ces limites varient d'un individu à un autre ; 2° que la perception plus ou moins facile de sons très-graves ou très-aigus dépend plutôt de leur intensité que de leur hauteur.

LETTRE IV.

Des consonnances et des dissonances.

Votre Altesse vient d'interrompre le fil de mes pensées d'une manière très-gracieuse. . . . .

. . . .

C'est donc avec un cœur rempli de remercîments que je retourne à mon sujet. Nous avons remarqué qu'en entendant un son simple de musique notre oreille est frappée d'une suite de corps également éloignés entre eux, dont la fréquence ou le nombre produit dans un certain temps cause la différence qui règne entre les sons graves et aigus : en sorte que plus le nombre de vibrations ou coups produits dans un certain temps, comme dans une seconde, est petit, plus le son est estimé grave; et plus ce nombre-là est grand, plus le son est aigu. Donc la sensation d'un son simple de musique peut être comparée avec une suite de points également éloignés entre eux, comme. . . . . Si les intervalles entre ces points sont ou plus grands ou plus petits, le son qui en est représenté sera ou plus grave ou plus aigu. Il n'y a point aussi de doute que la sensation d'un son simple ne soit semblable ou analogue à la vue d'une telle suite de points également éloignés entre eux; et par ce moyen on peut représenter aux yeux la même chose que les oreilles sentent en entendant un son. Si les distances entre les points n'étaient pas égales, et que les points fussent rangés confusément, ce serait la représentation d'un bruit confus contraire à l'harmonie. Cela posé, considérons quel effet deux sons, rendus à la fois, doivent produire sur l'oreille. Et d'abord il est clair que si ces deux sons sont égaux, ou que chacun renferme le même nombre de vibrations pour le même temps, l'oreille en sera affectée de la même manière que d'un seul son, et dans la musique on dit que ces deux sons sont à l'unisson, ce qui est le plus simple *accord*, un *accord* étant nommé le mélange de deux ou plusieurs sons qu'on entend à la fois. Mais si les deux sons sont différents par rapport au grave ou à l'aigu, on apercevra un mélange de deux suites de coups dans chacune desquelles les intervalles sont égaux entre eux, mais dans l'une plus grande que dans l'autre, celles-là répondant au

son plus grave, et celles-ci au plus aigu. Un tel mélange ou accord de deux sons peut être représenté aux yeux par deux suites

```
    1   2   3   4   5   6   7   8   9   10   11
a .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   . b

c .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .   . d
  1   2   3   4   5   6   7   8   9   10  11  12
```

de points rangés sur deux lignes *ab* et *cd;* et pour avoir une juste idée de ces deux suites il faut s'apercevoir de l'ordre qui y règne, ou, ce qui revient au même, du rapport entre les intervalles de l'une et de l'autre ligne. Ayant numéroté les points de l'une et de l'autre ligne et mis le nº 1 sous le nº 1, les nºs 2 ne seront plus précisément l'un sous l'autre, et encore moins les nºs 3; mais on voit qu'en haut le nombre 11 se trouve précisément au-dessus du nombre 12 en bas, d'où l'on connaît que le plus haut son achève 12 vibrations pendant que l'autre n'en fait que 11. Mais sans y écrire les nombres, les yeux n'y découvriraient presque point cet ordre; et il en est de même des oreilles, qui découvriraient aussi difficilement l'ordre parmi les deux sons que j'ai représentés par les deux rangs de points. Mais dans cette figure

```
.   .   .   .   .   .   .   .   .   .   .
.       .       .       .       .       .
```

on découvre au premier coup d'œil que la ligne d'en haut contient deux fois plus de points que celle d'en bas, ou que les intervalles dans la ligne d'en bas sont deux fois plus grands que dans celle d'en haut. C'est sans doute le cas le plus simple après l'unisson, où l'on peut aisément découvrir l'ordre dans ces deux suites de points, et il en est de même des deux sons représentés par ces deux lignes de points, dont l'un achèvera précisément deux fois plus de vibrations que l'autre, et l'oreille s'apercevra aisément de ce beau rapport qui se trouve parmi ces deux sons, pendant que dans le cas précédent le jugement est très-difficile, sinon impossible. Maintenant, quand l'oreille découvre aisément un rapport qui règne entre deux sons, leur accord est nommé une *consonnance;* et quand ce rapport est très-difficile à découvrir ou même impossible, l'accord est nommé *dissonance*. Donc la plus simple consonnance est celle où le son aigu achève précisément deux fois plus de vibrations que le son grave. Cette consonnance est nommée dans la musique une *octave :* tout le monde en connaît la force, et deux sons qui diffèrent

précisément d'une octave *harmonient* si bien et se ressemblent si fort que les musiciens les marquent par les mêmes lettres. Aussi voyons-nous dans les églises que les femmes chantent d'une octave plus haut que les hommes, et s'imaginent pourtant entonner les mêmes sons. Votre Altesse s'assurera aisément de cette vérité sur un clavecin, et s'apercevra avec plaisir du bel accord entre tous les sons qui diffèrent d'une octave, pendant que deux autres sons quelconques ne *sonnent* pas si bien.

29 avril 1760.

LETTRE V.

De l'unisson et des octaves.

Votre Altesse aura déjà remarqué que l'accord que les musiciens nomment une octave frappe l'oreille d'une manière si marquée, qu'on y découvre aisément la moindre aberration. Ainsi ayant entonné le son marqué F, on y accorde aisément le son *f*, qui est plus haut d'une octave, par le seul jugement de l'oreille; et si la corde du son *f* est tant soit peu trop haute ou trop basse, l'oreille en est d'abord choquée : rien n'est plus aisé que de la mettre parfaitement d'accord. Aussi voyons-nous que tout le monde passe aisément, en chantant, d'un son à un autre qui est d'une octave ou plus haut ou plus bas. Mais s'il faut passer du son F au son *d*, par exemple, un chanteur médiocre se trompera aisément, s'il n'est pas secouru d'un instrument; ayant fixé le son F, il est presque impossible d'y accorder tout d'un coup le son *d*. Quelle est donc la raison de cette différence, qu'il est si aisé d'accorder le son *f* au son F, et si difficile d'y accorder le son *d*? Cette raison est bien évidente par ce que j'ai eu l'honneur d'expliquer à Votre Altesse dans mes dernières remarques : c'est que le son F et le son *f* font une octave, ou que le nombre des vibrations du son *f* est précisément le double de celui du son F. Pour apercevoir cet accord il ne s'agit que de sentir la proportion de un à deux, qui, comme elle saute d'abord aux yeux par la représentation des points dont je me suis servi auparavant, affecte les oreilles d'une manière semblable. Or Votre Altesse comprendra aisément que plus une proportion est simple ou exprimée par de petits nombres, plus elle se présente distinctement à l'entendement, et y excite un sentiment de plaisir. Les architectes observent aussi très-soigneusement cette maxime, en employant partout dans les

bâtiments des proportions aussi simples que les autres circonstances le permettent. Dans les portes et fenêtres ils font ordinairement la hauteur deux fois plus grande que la largeur, et partout ils tâchent d'employer des proportions exprimables en de petits nombres, puisque cela plaît à l'entendement. Il en est donc de même dans la musique, où les accords ne plaisent qu'autant que l'esprit y découvre la proportion qui règne entre les sons, et cette proportion s'aperçoit d'autant plus aisément qu'elle est exprimée par de petits nombres. Or, après la proportion d'égalité, qui marque deux sons égaux ou à l'unisson, la proportion de deux à un est sans doute la plus simple, et c'est celle qui fournit l'accord d'une octave : de là il est évident que cet accord est doué de beaucoup de prérogatives parmi les autres consonnances. Après cette explication de l'accord ou de l'intervalle entre deux sons, que les musiciens nomment une octave, considérons plusieurs sons, comme F, *f*, $\bar{f}$, $\bar{\bar{f}}$, $\bar{\bar{\bar{f}}}$, dont chacun est d'une octave plus haut que le précédent : donc, puisque l'intervalle de F à *f*, de *f* à $\bar{f}$, de $\bar{f}$ à $\bar{\bar{f}}$, de $\bar{\bar{f}}$ à $\bar{\bar{\bar{f}}}$ est une octave, l'intervalle de F à $\bar{f}$ sera une double octave, celui de F à $\bar{\bar{f}}$ une triple octave, et celui de F à $\bar{\bar{\bar{f}}}$ une quadruple octave. Or, pendant que le son F rend une vibration, le son *f* en rend deux, le son $\bar{f}$ quatre, le son $\bar{\bar{f}}$ huit, le son $\bar{\bar{\bar{f}}}$ seize : d'où nous voyons que, comme une octave répond 1 à 2, ainsi une double octave répond 1 à 4, une triple octave 1 à 8, et une quadruple à celle de 1 à 16. Or la proportion de 1 à 4 n'étant plus si simple que celle de 1 à 2, puisqu'elle ne saute plus si aisément aux yeux, une double octave ne s'aperçoit pas si aisément qu'une simple octave; une triple octave est encore moins perceptible, et une quadruple octave encore moins. Ainsi, en accordant un clavecin et ayant fixé le son F, il n'est pas si aisé d'y accorder la double octave $\bar{f}$ que la simple *f*; et il est encore plus difficile d'y accorder la triple octave $\bar{\bar{f}}$ et la quadruple $\bar{\bar{\bar{f}}}$, sans y monter par les octaves intermédiaires. Ces accords sont aussi compris dans le terme de consonnance; et puisque celle de l'unisson est la plus simple, on peut les ranger selon les degrés suivants :

Ier degré : l'unisson, qui est indiqué par la proportion de 1 à 1

IIe degré : l'octave continue, dans la proportion de 1 à 2.

IIIe degré : la double octave, dans la proportion de 1 à 4.

IV[e] degré : la triple octave, dans la proportion de 1 à 8.
V[e] degré : la quadruple octave, dans la proportion de 1 à 16
VI[e] degré : la quintuple octave, dans la proportion de 1 à 32.

Et ainsi de suite, en tant que les sons en sont encore sensibles. Ce sont les accords, ou consonnances, à la connaissance desquelles nous avons été conduits jusqu'ici ; et nous ne savons encore rien des autres espèces de consonnances, et encore moins des dissonances dont on fait usage dans la musique. Mais avant de passer à l'explication de celles-ci, je dois ajouter une remarque sur le nom d'octave, qu'on donne à l'intervalle de deux sons dont l'un fait deux fois plus de vibrations que l'autre. Votre Altesse en voit la raison dans les touches principales du clavecin, qui montent par 7 degrés avant que d'arriver à l'octave, comme C, D, E, F, G, A, H, *c*, de sorte que la touche *c* est la huitième en comptant C la première. Mais cette division dépend d'une certaine espèce de musique, dont la raison ne saurait être exposée que dans la suite.

3 mai 1760.

LETTRE VI.

Des autres consonnances.

On peut dire que toutes les proportions de 1 à 2, de 1 à 4, de 1 à 8, de 1 à 16, que nous avons considérées jusqu'ici, et qui renferment la nature d'une octave simple ou double, ou triple, ou quadruple, tirent leur origine du seul nombre 2, puisque 4 est deux fois deux, 8 deux fois quatre, et 16 est deux fois huit. Ainsi en n'admettant que le nombre *deux* dans la musique, on ne parvient qu'à la connaissance des accords ou consonnances que les musiciens nomment octave, ou simple, ou double, ou triple ; et, puisque le nombre 2 ne fournit par sa réduplication que les nombres 4, 8, 16, 32, 64, l'un étant toujours double de l'autre, tous les autres nombres nous demeurent encore inconnus. Or, si un instrument ne contenait que des octaves, comme les sons marqués C, c, $\bar{c}$, $\bar{\bar{c}}$, $\bar{\bar{\bar{c}}}$, et que tous les autres en fussent exclus, il ne saurait produire aucune musique agréable, à cause de sa trop grande simplicité. Introduisons donc, outre le nombre 2, encore le nombre 3, et voyons quels accords ou quelles consonnances en résulteront. D'abord la proportion de 1 à 3 nous présente deux sons, dont l'un

rend trois fois plus de vibrations que l'autre en même temps. Cette proportion est sans doute la plus aisée à comprendre après celle de 1 à 2, et partant elle fournira des consonnances fort belles, mais d'une nature tout à fait différente de celle des octaves. Supposons donc que, de la proportion de 1 à 3, le nombre 1 réponde au son C; puisque le son *c* est exprimé par le nombre 2, le nombre 3 nous donne un son plus haut que *c*, mais pourtant plus bas que le son $\bar{c}$ qui répond au nombre 4. Or, le son exprimé par 3 est celui que les musiciens marquent par la lettre *g*, et ils nomment l'intervalle de *c* à *g* une *quinte*, puisque dans les touches d'un clavecin celle de *g* est la cinquième depuis *c*, comme *c*, *d*, *e*, *f*, *g*. Donc, si le nombre 1 donne le son C, le nombre 2 donne *c*, le nombre 3 donne *g*, le nombre 4 le son $\bar{c}$; et puisque le son $\bar{g}$ est l'octave de *g*, son nombre sera 2 fois 3, et partant 6; et montant encore d'une octave, le son $\bar{\bar{g}}$ sera deux fois plus grand, et partant 12. Tous les sons, donc, auxquels les deux nombres 2 et 3 nous conduisent en indiquant le son C par 1, sont : C. *c*. *g*. $\bar{c}$. $\bar{g}$. $\bar{\bar{c}}$. $\bar{\bar{g}}$. $\bar{\bar{\bar{c}}}$
1. 2. 3. 4. 6. 8. 12. 16

De là il est clair que la proportion de 1 à 3 exprime un intervalle composé d'une octave et d'une quinte, et que cet intervalle, à cause de la simplicité de ses nombres, doit être, après l'octave, le plus sensible à l'oreille. Aussi les musiciens donnent-ils à la quinte le second rang parmi les consonnances; et l'oreille en est si agréablement affectée qu'il est fort aisé d'accorder une quinte. Ainsi sur les violons, les quatre cordes montent par des quintes, la plus basse étant G, la seconde *d*, la troisième *a*, et la quatrième $\bar{e}$; et chaque musicien les met aisément d'accord par l'oreille seule. Cependant une quinte ne s'accorde pas si aisément qu'une octave; mais la quinte au-dessus de l'octave, comme de C à *g*, étant exprimée par la proportion de 1 à 3, est plus sensible qu'une simple quinte, comme de C à G, ou de *c* à *g*, laquelle est exprimée par la proportion de 2 à 3; et l'on sait aussi par l'expérience qu'ayant fixé le son C, il est plus aisé d'y accorder la quinte supérieure *g*, que la simple G. Si l'unité nous avait marqué le son F, le nombre 3 marquerait le son $\bar{c}$, en sorte que F . *f* . $\bar{c}$. *f* . $\bar{\bar{c}}$. *f* . $\bar{\bar{\bar{c}}}$ seraient marqués par 1 . 2 . 3 . 4 . 6 . 8 . 12, où de *f* à $\bar{c}$ l'intervalle est une quinte contenue dans la proportion de 2 à 3; de $\bar{f}$ à $\bar{\bar{c}}$, de $\bar{\bar{f}}$ à $\bar{\bar{\bar{c}}}$ il y a aussi une quinte, puisque la pro-

portion de 4 à 6 et de 8 à 12 est la même que celle de 2 à 3. Car si deux aunes coûtent 3 écus, 4 aunes coûteront 6, et 8 aunes 12 écus. De là nous arrivons à la connaissance d'un autre intervalle contenu dans la proportion de 3 à 4, qui est de $\bar{c}$ à $\bar{f}$, et partant aussi de c à f, ou de C à F, que les musiciens nomment une *quarte*, laquelle étant exprimée par de plus grands nombres, il s'en faut beaucoup qu'elle soit si agréable que la quinte, et encore moins que l'octave. Comme le nombre 3 nous a fourni ces nouveaux accords ou consonnances de la quinte et de la quarte, avant que d'employer d'autres nombres prenons le nombre 3 encore trois fois pour avoir le nombre 9, qui donnera un son plus haut que le son 3 ou $\bar{c}$ d'une octave et d'une quinte, où $\bar{\bar{c}}$ est l'octave de $\bar{c}$, et $\bar{\bar{g}}$ la quinte de $\bar{\bar{c}}$; donc le nombre 9 donne le son $\bar{\bar{g}}$, en sorte que $\bar{\bar{c}}$. $\bar{\bar{f}}$. $\bar{\bar{g}}$. $\bar{\bar{\bar{c}}}$ seront marqués par 6, 8, 9, 12; ou, prenant ces sons dans les octaves inférieures, les proportions demeurant les mêmes, on aura :

$$\begin{array}{ccccccccccccc} C & F & G & c & f & g & \bar{c} & \bar{f} & \bar{g} & \bar{\bar{c}} & \bar{\bar{f}} & \bar{\bar{g}} & \bar{\bar{\bar{c}}} \\ 6 & 8 & 9 & 12 & 16 & 18 & 24 & 32 & 36 & 48 & 64 & 72 & 96 \end{array}$$

d'où nous parvenons à la connaissance de nouveaux intervalles. Le premier est celui de F à G, contenu dans la proportion de 8 à 9, que les musiciens nomment une *seconde*, et aussi un *ton entier*. Le second est de G à f, contenu dans la proportion de 9 à 16, qu'on nomme une *septième*, et qui est d'une seconde ou d'un ton entier plus petit qu'une octave. Ces proportions étant déjà exprimées par des nombres considérablement grands, les intervalles ne sont plus comptés parmi les consonnances, et les musiciens les nomment *dissonances*.

Si nous prenons le nombre 9 encore 3 fois pour avoir 27, ce nombre marquera un ton plus haut que $\bar{c}$, et précisément d'une quinte plus haut que g; ce sera donc le ton $\bar{d}$, et son octave $\bar{\bar{d}}$ répondra au nombre 2 fois 27 ou 54, et la double octave $\bar{\bar{\bar{d}}}$ au nombre 2 fois 54 ou 108. Représentons ces tons, de quelques octaves plus bas, de la manière suivante :

$$\begin{array}{cccccccccccc} C. & D. & F. & G. & c. & d. & f. & g. & \bar{c}. & \bar{d}. & \bar{f}. & \bar{g} \\ 24. & 27. & 32. & 36. & 48. & 54. & 64. & 72. & 96. & 108. & 128. & 144 \end{array}$$

$$\begin{array}{ccccc} \bar{\bar{c}}, & \bar{\bar{d}}, & \bar{\bar{f}}, & \bar{\bar{g}}, & \bar{\bar{\bar{c}}}, \\ 192. & 216, & 256. & 288, & 384, \end{array}$$

où nous découvrons que l'intervalle D à F est contenu dans la proportion de 27 à 32, et celui de F à *d* dans la proportion de 32 à 54 ; ou prenons la moitié de 16 à 27, dont la première est nommée une *tierce mineure*, et l'autre une *sexte majeure*. On pourrait encore tripler le nombre 27 ; mais la musique ne passe pas si loin, et on se borne au nombre 27 résultant de 3, en le multipliant pour la troisième fois par lui-même ; les autres tons de musique, qui nous manquent encore, sont introduits par le nombre 5, que je développerai dans la lettre suivante.

3 mai 1760.

LETTRE VII.

Des douze tons du clavecin.

La matière sur laquelle je prends la liberté d'entretenir Votre Altesse est si sèche, que j'ai lieu de craindre qu'elle ne vous ennuie bientôt ; mais, pour ne pas employer trop de temps, j'envoie aujourd'hui trois lettres à la fois, afin de finir tout d'un coup ce sujet presque dégoûtant. Mon intention était de mettre sous les yeux de Votre Altesse la véritable origine des sons employés dans la musique, qui est presque absolument inconnue à tous les musiciens : car ce n'est pas la théorie qui les a conduits à la connaissance de tous les tons ; ils en sont plutôt redevables à une force cachée de la véritable harmonie, qui a opéré si efficacement sur les oreilles qu'elles ont pour ainsi dire été forcées de recevoir les tons qui sont actuellement en usage, quoiqu'ils ne soient pas encore bien décidés sur leur juste détermination. Or, les principes de l'harmonie se réduisent enfin à des nombres, comme j'ai eu l'honneur de le faire voir, et j'ai remarqué que le nombre 2 ne fournit que des octaves, en sorte qu'ayant, par exemple, fixé le ton F, nous avons été conduits aux sons f, $\bar{f}$, $\bar{\bar{f}}$, $\bar{\bar{\bar{f}}}$. Ensuite le nombre 3 fournit les tons C, c, $\bar{c}$, $\bar{\bar{c}}$, $\bar{\bar{\bar{c}}}$, qui diffèrent de ceux-là d'une quinte ; et la répétition de ce même nombre 3 fournit encore les quintes des premières, qui sont G, g, $\bar{g}$, $\bar{\bar{g}}$, $\bar{\bar{\bar{g}}}$, et enfin la troisième répétition de ce nombre 3 y ajoute encore les tons D, d, $\bar{d}$, $\bar{\bar{d}}$. Or, les principes de l'harmonie étant attachés à la simplicité ne semblent pas permettre qu'on pousse plus loin la répétition du nombre 3 ; et

partant, jusqu'ici nous n'avons que les tons suivants pour chaque octave

F . G . *c* . *d* . *f*,
16 . 18 . 24 . 27 . 32,

qui n'admettent pas certainement une musique bien variée. Mais introduisons aussi le nombre 5, et voyons quel sera le ton qui rend 5 vibrations pendant que le ton F n'en fait qu'une. Or, le ton *f* fait en même temps 2, et le ton $\bar{f}$ 4, et le ton $\bar{\bar{c}}$ 6. Le ton en question est donc entre $\bar{f}$ et $\bar{\bar{c}}$, et c'est celui que les musiciens indiquent par la lettre $\bar{a}$, dont l'accord avec le ton $\bar{f}$ est nommé une *tierce majeure*, et se trouve faire une consonnance fort agréable, étant contenu dans la proportion de ces assez petits nombres 4 et 5. De plus, ce ton $\bar{a}$ avec le ton $\bar{\bar{c}}$ fait un accord contenu dans la proportion de 5 à 6, qui est presque aussi agréable que celui-là, et qu'on nomme aussi une *tierce mineure*, comme celle dont nous avons déjà parlé, contenue entre les nombres 27 et 32; puisque la différence est presque insensible à l'oreille. Ce même nombre 5 étant appliqué aux autres sons G, *c*, *d*, nous donnera de la même manière leurs tierces majeures prises dans la seconde octave au-dessus, c'est-à-dire les sons $\bar{h}$, $\bar{\bar{e}}$ et $\bar{\bar{fs}}$, qui étant transportés dans la première octave, nous aurons maintenant ces tons avec leurs nombres

F . Fs . G . A . H . *c* . *d* . *e* . *f*.
128 . 135 . 144 . 160 . 180 . 192 . 216 . 240 . 256.

Otez les tons Fs, et vous aurez les touches principales du clavecin qui, selon les anciens, constitue le genre nommé *diatonique*, et qui résulte du nombre 2, du nombre 3 trois fois répété, et du nombre 5. En n'admettant que ces tons, on est en état de composer de très-belles et très-variées mélodies, dont la beauté est fondée uniquement sur la simplicité des nombres qui ont fourni ces tons. Enfin, en appliquant pour la seconde fois le nombre 5, il fournira les tierces de quatre nouveaux tons A, E, H, Fs, que nous venons de trouver, et partant nous aurons les sons Cs, Gs, Ds et B, de sorte qu'à présent l'octave est remplie de 12 tons, précisément les mêmes qui sont reçus dans la musique. Tous ces tons tirent leur origine de ces trois nombres 2, 3 et 5, en *répliquant* 2 autant de fois que les octaves le demandent; mais pour le 3, on ne le *réplique* que trois fois, et le nombre 5 deux fois seulement. Voilà donc tous

les tons de la première octave exprimés par les nombres suivants, où l'on voit la composition de chacun des nombres 2, 3 et 5 :

			Différence.
C	2.2.2.2.2.2.2.3...	384	16
Cs	2.2.2.2.5.5.......	400	32
D	2.2.2.2.3.3.3.....	432	18
Ds	2.3.3.3.5.........	450	30
E	2.2.2.2.2.3.5.....	480	32
F	2.2.2.2.2.2.2.2.2.	512	28
Fs	2.2.3.3.3.5.......	540	36
G	2.2.2.2.3.2.3.3...	576	24
Gs	2.2.2.3.5.5.......	600	40
A	2.2.2.2.2.2.2.5...	640	35
B	3.3.3.5.5.........	675	45
H	2.2.2.2.3.3.5.....	720	48
c	2.2.2.2.2.2.2.2.3.	768	

Pendant que le son C rend 384 vibrations, le son Cs rend 400 en même temps, et les autres autant que les nombres y joints marquent : ainsi le son *c* rendra en même temps 768, ce qui est précisément le double du nombre 384. Et pour les octaves suivantes, on n'a qu'à multiplier ces nombres par 2, ou par 4, ou par 8. Ainsi, le son $\bar{c}$ rendra 2 fois 768 ou 1,536 vibrations; le son $\bar{\bar{c}}$, 2 fois 1,536 ou 3,072 vibrations; et le son $\bar{\bar{\bar{c}}}$, 2 fois 3,072 ou 6,144 vibrations. Pour comprendre la formation des sons de ces trois nombres 2, 3 et 5, il faut remarquer que les points mis entre ces nombres signifient la multiplication; ainsi, pour le ton Fs l'expression 2. 2. 3. 3. 3. 5 signifie 2 fois 2 fois 3 fois 3 fois 3 fois 5. Or, 2 fois 2 est 4, et 4 fois 3 est 12, et 12 fois 3 est 36, et 36 fois 3 est 108, et 108 fois 5 est 540. On voit par là que les différences entre ces tons ne sont pas égales entre elles, et que d'autres sont plus grandes et d'autres plus petites; c'est aussi ce que la véritable harmonie exige. Mais, puisque l'inégalité n'est pas considérable, on regarde communément toutes ces différences comme égales, et l'on nomme le saut de chaque ton au suivant un *semi-ton;* car l'on dit que l'octave est de cette manière divisée en 12 *semi-tons.* Plusieurs musiciens les font aussi actuellement égaux, quoique cela soit contraire aux principes de l'harmonie; car de cette façon aucune quinte ni aucune tierce n'est juste, et l'effet en est le même que si ces tons n'étaient pas bien accordés. Ils conviennent aussi qu'il

faut renoncer à la justesse de ces accords pour obtenir l'avantage de l'égalité de tous les semi-tons, de sorte que la transposition d'un ton à un autre quelconque ne change rien dans les mélodies. Cependant ils avouent eux-mêmes que la même pièce étant jouée du ton C ou d'un demi-ton plus haut Cs, change considérablement de nature, d'où il est clair que tous les demi-tons ne sont pas effectivement égaux, quoique les musiciens s'efforcent de les rendre tels, parce que la véritable harmonie s'oppose à l'exécution de ce dessein qui lui est contraire. Voilà donc la véritable origine des tons qui sont aujourd'hui en usage, et qui sont tirés des nombres 2, 3 et 5. Si l'on voulait encore introduire le nombre 7, le nombre des tons d'une octave deviendrait plus grand, et toute la musique en serait portée à un plus haut degré. Mais c'est ici que la *Mathématique* abandonne l'harmonie à la musique.

3 mai 1760.

LETTRE VIII.

Sur les agréments d'une belle musique.

C'est une question aussi importante que curieuse pourquoi une belle musique excite en nous le sentiment du plaisir? Les savants sont bien partagés là-dessus. Il y en a qui prétendent que c'est une pure bizarrerie, et que le plaisir que cause la musique n'est fondé sur aucune raison, vu que la même musique peut être goûtée par quelques-uns et déplaire à d'autres. Mais bien loin que la question en soit décidée par là, la question en devient plutôt plus compliquée; car on veut savoir la raison pourquoi la même pièce de musique peut produire de si différents effets, puisqu'il faut convenir que rien n'arrive sans raison. D'autres disent que le plaisir qu'on sent en entendant une belle musique consiste dans la perception de l'ordre qui y règne. Ce sentiment paraît d'abord assez bien fondé, et mérite d'être examiné plus soigneusement. La musique renferme deux espèces d'objets où quelque ordre trouve lieu. L'un se rapporte à la différence des tons, en tant qu'ils sont hauts ou bas, aigus ou graves; et Votre Altesse se souviendra que cette différence est contenue dans le nombre de vibrations que chaque ton rend en même temps. Cette différence qui se trouve entre la vitesse des vibrations de tous les tons est ce qui est nommé proprement l'*harmonie*. Donc en entendant une musique, lorsqu'on

comprend les rapports ou les proportions que les vibrations de tous les tons tiennent entre eux, c'est la production de l'harmonie. Ainsi deux tons qui diffèrent d'une octave excitent le sentiment de la proportion de 1 à 2; une quinte, la proportion de 2 à 3; et une tierce majeure, la proportion de 4 à 5. On comprend donc l'ordre qui se trouve dans quelque harmonie, quand on connaît toutes les proportions qui règnent entre les tons dont l'harmonie est composée; et c'est le jugement des oreilles qui conduit à cette connaissance. Ce jugement étant plus ou moins fin, il est clair pourquoi la même harmonie est aperçue par l'un et pas du tout par l'autre, surtout quand les proportions entre les tons sont exprimées par des nombres un peu grands. Mais la musique renferme, outre l'harmonie, encore un autre objet susceptible d'ordre, qui est la mesure par laquelle on assigne à chaque ton une certaine durée, et la perception de la mesure consiste dans la connaissance de la durée de tous les tons et des proportions qui en naissent, comme si un ton dure deux fois, trois fois ou quatre fois plus qu'un autre. Le tambour et la timbale nous fournissent une musique où la seule mesure a lieu, puisque tous les tons sont égaux entre eux, et là il n'y a point d'harmonie; comme il y a aussi une musique où la seule harmonie a lieu, à l'exclusion de la mesure. Une telle musique est le *Choral*, où tous les tons sont d'une même durée; or une musique parfaite contient et l'harmonie et la mesure. Maintenant, qui entend une musique et qui comprend, par le jugement de ses oreilles, toutes les proportions sur lesquelles tant l'harmonie que la mesure est fondée, il est certain qu'il a la plus parfaite connaissance de cette musique qu'il soit possible; pendant qu'un autre qui n'aperçoit ces proportions qu'en partie ou point du tout, n'y comprend rien ou en a une connaissance imparfaite; mais le plaisir sur lequel roule notre question est encore bien différent de cette connaissance dont je viens de parler, quoiqu'on puisse soutenir hardiment qu'une musique ne saurait produire du plaisir, à moins qu'on n'en ait une connaissance; car la seule connaissance de toutes les proportions qui règnent dans une musique, tant à l'égard de l'harmonie que de la mesure, ne suffit pas encore pour exciter le sentiment du plaisir : il y faut quelque chose de plus, que personne n'a encore développé. Pour se convaincre que la seule perception de toutes les proportions d'une musique n'est pas suffisante, on n'a qu'à considérer une musique fort simple, qui ne marche que par des octaves, où la perception des proportions est certainement la plus aisée; cependant il s'en faut beaucoup que cette musique cause du plaisir, quoiqu'on en ait la plus parfaite connaissance. On dit donc que le

plaisir demande une connaissance qui ne soit pas trop facile, mais qui exige quelque peine; il faut, pour ainsi dire, que cette connaissance nous coûte quelque chose; mais, à mon avis, cela ne suffit pas encore. Une dissonance dont la proportion consiste en de plus grands nombres est plus difficile à être comprise; cependant une suite de dissonances mises sans choix et sans dessein ne plaira pas. Il faut donc que le compositeur ait suivi, dans la composition, un certain plan ou dessein qu'il ait exécuté par des proportions réelles et perceptibles; et alors, lorsqu'un connaisseur entend cette pièce, et qu'outre les proportions il en comprend le plan et le dessein même que le compositeur a eu en vue, il sentira cette satisfaction, qui est ce plaisir dont une belle musique frappe les oreilles intelligentes. Ce plaisir vient donc de ce qu'on devine pour ainsi dire les vues et les sentiments du compositeur, dont l'exécution, en tant qu'on la juge heureuse, remplit l'esprit d'une agréable satisfaction. C'est à peu près une semblable satisfaction qu'on ressent en voyant une belle pantomime où l'on peut deviner, par les gestes et les actions, les sentiments et les discours qui en sont représentés et qui exécutent outre cela un beau dessein. Cette énigme du Ramoneur [1], qui a tant plu à Votre Altesse, me fournit aussi une belle *instance*. Dès qu'on en devine le sens et qu'on reconnaît qu'il est parfaitement exprimé dans la proposition de l'énigme, on en ressent un grand plaisir; au lieu que les énigmes plates et mal dirigées n'en causent aucun. Voilà, à mon avis, les vrais principes sur lesquels sont fondés tous les jugements sur la beauté des pièces de musique; mais ce n'est que l'avis d'un homme qui n'en entend rien du tout, et qui par conséquent doit être honteux d'avoir osé entretenir Votre Altesse sur ce sujet.

6 mai 1760.

LETTRE IX.

Sur la compression de l'air.

L'explication du son, que j'ai eu l'honneur de présenter à Votre Altesse, me conduit à une considération plus particulière de l'air, qui étant susceptible d'un semblable mouvement de vibration que celui dont les corps sonores, comme les cordes, cloches, etc., sont agités, en transmet l'ébranlement jusqu'à nos oreilles. On demande donc ce que c'est que l'air? On ne s'aperçoit pas d'abord que ce soit une matière.

1. L'énigme, célèbre autrefois, de Lamotte.

Il semble que l'espace qui nous environne, en tant que nous n'y voyons point de corps sensibles, ne contienne aucune matière, puisque nous n'y sentons rien, et que nous pouvons marcher et mouvoir nos membres à travers sans rencontrer le moindre obstacle; mais on n'a qu'à frapper bien vite la main pour sentir quelque résistance, et on s'apercevra même d'un vent causé par un tel mouvement rapide. Aussi le vent n'est autre chose que l'air mis en mouvement; et puisque le vent est capable de produire des effets si surprenants, qui pourrait douter que l'air ne soit une matière, et partant aussi un corps? car corps et matière signifient la même chose. On distingue les corps en deux espèces, les *solides* et les *fluides;* et il est évident que l'air doit être rapporté dans la classe des fluides. Il a plusieurs propriétés communes avec l'eau, mais il est beaucoup plus subtil et plus délié. On a conclu par des expériences que l'air est environ 800 fois plus subtil et plus rare que l'eau; ou bien que si l'air devenait 800 fois plus épais qu'il n'est actuellement, il obtiendrait la même consistance que l'eau. Or, une propriété principale de l'air, par laquelle il se distingue des autres matières fluides, est qu'il se laisse comprimer ou réduire dans un moindre espace; ce qu'on prouve par cette expérience : on prend un tuyau de métal ou de verre ABCD (*fig.* 2), bien fermé par le bout AB, et ouvert par l'autre, où l'on fait entrer un piston qui remplit exactement la cavité du tuyau. Alors on pousse ce piston en dedans, et quand il sera parvenu jusqu'au milieu E, l'air qui occupait au commencement la cavité ABCD, sera pour lors réduit à la moitié, et sera par conséquent deux fois plus dense. Si l'on pousse le piston encore plus loin, jusqu'au milieu F, entre B et E, l'air sera réduit dans un espace quatre fois plus petit; et si l'on continuait de pousser le piston jusqu'à G, de sorte que BG fût la moitié de BF ou la huitième partie de la longueur entière BD, le même air qui était répandu au commencement par toute la cavité du tuyau, serait alors réduit dans un espace huit fois plus petit. Si l'on continuait de cette manière à le réduire jusque dans un espace 800 fois plus petit, on obtiendrait un air 800 fois plus dense ou plus épais que l'air ordinaire. Il serait donc aussi dense et aussi épais que l'eau, ce qu'on est en état de prouver par d'autres expériences. Par là on reconnaît que l'air est une matière fluide qui se laisse comprimer, ce qui signifie la même chose que de le réduire dans un moindre espace; et c'est à cet égard que l'air est une matière tout à fait différente de l'eau. Car si on remplissait d'eau le tuyau ABCD, et qu'on y mît le piston, il serait impossible de le

A C
B G F E D
Fig. 2.

faire entrer plus avant. Quelque force même qu'on employât, on n'avancerait absolument rien, et on ferait plutôt crever le tuyau que de réduire l'eau dans un espace tant soit peu plus petit[1]. Voilà donc une différence essentielle entre l'air et l'eau, c'est que l'eau n'est susceptible d'aucune compression, au lieu que l'air peut être comprimé autant qu'on veut. Or, plus on comprime l'air, plus il devient dense ou épais; ainsi l'air qui a occupé un certain espace quand il est réduit ou comprimé dans un espace deux fois plus petit, devient deux fois plus dense; quand il est comprimé dans un espace 10 fois plus petit, il devient 10 fois plus dense, et ainsi de suite. J'ai déjà remarqué que s'il devenait 800 fois plus dense, il aurait la même densité que l'eau et serait aussi pesant, car la pesanteur croît en même raison que la densité. L'or est le corps le plus pesant que nous connaissions, et partant aussi le plus dense[2]. On a trouvé qu'il est 19 fois plus pesant que l'eau, et qu'une masse d'or en forme d'un cube dont la longueur, largeur et hauteur seraient chacune d'un pied, pèserait 19 fois plus qu'une semblable masse d'eau. Or cette masse d'eau pèse 70 livres; donc ladite masse d'or pèserait 19 fois 70, c'est-à-dire 1330 livres. Donc, si l'on pouvait comprimer l'air jusqu'à ce qu'il fût réduit dans un espace 19 fois 800, c'est-à-dire 15,200 fois plus petit, il deviendrait aussi dense et aussi pesant que l'or. Mais il s'en faut beaucoup qu'on puisse pousser si loin la compression de l'air. D'abord on peut bien faire avancer le piston sans peine, mais plus il est avancé, plus on rencontre de peine à le pousser plus loin; et avant qu'on puisse parvenir à réduire l'air à un espace 10 fois plus petit, il faut employer tant de forces pour pousser plus loin le piston que le tuyau en crèverait, à moins qu'il ne soit très-fort. Or, non-seulement il faudrait autant de forces pour pousser plus loin le piston, mais il en faudrait autant pour le maintenir, et, dès qu'on le relâcherait, l'air comprimé le repousserait en arrière. Plus l'air est comprimé, et plus il fait d'efforts pour se répandre et pour se rétablir dans son état naturel. C'est ce qu'on nomme le *ressort* ou l'*élasticité* de l'air; ce dont je me propose d'entretenir Votre Altesse l'ordinaire prochain.

10 mai 1760.

1. Ceci n'est point parfaitement exact : les liquides sont compressibles jusqu'à un certain point. Les expériences de MM. Colladon et Sturm ont établi que la compressibilité cubique moyenne de l'eau, sous une augmentation de pression d'une atmosphère, est 0,00004965, et que la contraction totale varie proportionnellement à la pression.

2. Il y a ici une légère inexactitude : le platine (déjà connu du temps d'Euler) est un peu plus dense que l'or. La densité de l'eau étant prise pour unité, celle du platine est 20,33, tandis que celle de l'or n'est que 19,36.

LETTRE X.

Sur la raréfaction et sur l'élasticité de l'air.

Votre Altesse vient de voir que l'air est une matière fluide environ 800 fois plus subtile que l'eau ; de sorte que si l'eau pouvait être répandue dans un espace autant de fois plus grand, et qu'elle devînt par conséquent autant de fois plus subtile, elle serait assez semblable à l'air que nous respirons. Mais l'air a une propriété qui ne convient nullement à l'eau : c'est que l'air se laisse comprimer dans un espace plus petit, d'où il devient plus condensé, comme j'ai eu l'honneur de le prouver l'ordinaire passé. Or nous découvrons dans l'air encore une autre propriété qui n'est pas moins remarquable : on le peut répandre dans un plus grand espace, et le rendre par ce moyen encore plus subtil. Cette opération est nommée la *raréfaction de l'air*, par laquelle il devient plus rare ou plus raréfié. On n'a qu'à prendre, comme auparavant, un tuyau ABCD (*fig.* 3) au fond duquel AC il y a un petit trou O, afin qu'en faisant entrer le piston jusqu'à F, l'air puisse s'échapper par le trou, et qu'il ne devienne point condensé. L'air qui occupe maintenant la cavité ACEF sera donc dans son état naturel, et alors on bouchera bien le trou O. Ensuite on retire le piston, et l'air se répandra successivement dans un plus grand espace, de sorte que, lorsque le piston aura été retiré jusqu'à G, l'espace CG étant le double de l'espace CF, le même air, qui était contenu dans l'espace ACEF, remplira à présent un espace 2 fois plus grand ; il sera donc 2 fois moins dense ou bien 2 fois plus rare. Quand on retire le piston jusqu'en H, de sorte que l'espace CH soit 4 fois plus grand que CF, l'air deviendra 4 fois plus rare qu'il n'était au commencement, étant à présent répandu dans un espace 4 fois plus grand. Et quand même on retirerait le piston si loin que l'espace devînt 1,000 fois plus grand, l'air se répandrait toujours également par cet espace, et deviendrait partout 1000 fois plus rare. C'est ici que l'air diffère aussi essentiellement de l'eau ; car si la cavité ACEF était remplie d'eau, on aurait beau retirer le piston, l'eau occuperait toujours le même espace qu'au commencement, et le reste demeurerait vide[1]. De là nous apprenons que l'air est doué d'une

A E B
O
C F G H D

Fig. 3.

1. Ce vide ne serait pas absolu, à cause de la formation immédiate d'une certaine quantité de vapeur d'eau.

force intrinsèque de se répandre de plus en plus, qu'il exerce non-seulement quand il est condensé, mais aussi quand il est raréfié. En quelque état de condensation ou de raréfaction que l'air se trouve, il fait des efforts pour s'étendre dans un plus grand espace, et il se répand actuellement aussitôt qu'il ne rencontre point d'obstacle. Cette force de se répandre est ce qu'on nomme le *ressort* ou l'*élasticité de l'air*, et on a trouvé, par de semblables expériences dont je viens de parler, que cette force est proportionnelle à la densité; c'est-à-dire que plus l'air est condensé, plus il fait d'efforts pour s'étendre; et plus il est raréfié, moins il en fait. On me demandera peut-être pourquoi l'air qui se trouve maintenant dans ma chambre ne s'échappe-t-il pas par la porte, attendu qu'il est doué d'une force de s'étendre par un plus grand espace? Votre Altesse y répondra sans doute que cela arriverait infailliblement, si l'air de dehors ne faisait des efforts aussi grands pour s'étendre; or, puisque ces efforts, avec lesquels l'air de la chambre voudrait sortir et celui de dehors entrer, sont égaux, ils se détruisent mutuellement l'un l'autre, et l'un et l'autre air demeure en repos. Or, si l'air du dehors eût acquis, par quelques accidents, une plus grande densité, et partant aussi une plus grande élasticité, il en entrerait une partie dans la chambre, où l'air, étant comprimé, acquerrait aussi une plus grande élasticité; cela durera jusqu'à ce que l'élasticité de l'air de dedans devienne égale à celle de dehors. De la même manière, si l'air de la chambre devenait subitement plus dense et son élasticité plus grande que l'air de dehors, alors l'air de la chambre sortirait, et, en perdant sa densité, il perdrait autant de son élasticité, jusqu'à ce qu'il parvienne au degré de l'air de dehors; alors le mouvement cesserait, et l'air de la chambre serait en équilibre avec celui de dehors. Donc aussi dans l'air libre, l'air ne sera tranquille qu'en tant qu'il a le même degré d'élasticité avec celui des contrées des environs; et aussitôt que l'air d'une contrée devient plus ou moins élastique que dans le voisinage, l'équilibre ne saurait plus subsister; mais où l'élasticité est plus grande, l'air s'étendra et se glissera dans les lieux où l'élasticité est plus petite, et c'est d'un tel mouvement de l'air que résulte le vent. De là vient que dans le même endroit l'élasticité de l'air est tantôt plus grande, tantôt plus petite; et cette variation est indiquée par un instrument qu'on nomme *baromètre*, dont la description mérite une explication particulière. Pour à présent, je me borne à cette qualité de l'air dont il est condensé et raréfié, en remarquant que, plus il est condensé, plus il a de force pour s'étendre, ou bien son élasticité devient plus grande; et, au contraire, plus on le raréfie, plus il perd

de son élasticité. Les physiciens ont inventé une machine par laquelle on peut tant condenser que raréfier l'air, qu'on nomme la *machine pneumatique*. Elle sert à faire plusieurs expériences tout à fait surprenantes, dont la plupart seront déjà connues à Votre Altesse. Je me réserve de ne parler que de quelques-unes, en tant qu'elles sont nécessaires à éclaircir et expliquer la nature et les propriétés de l'air, qui, contribuant principalement à notre conservation et même à la production de tous nos besoins que la terre fournit, mérite bien qu'on s'en forme une juste idée.

14 mai 1760.

LETTRE XI.

Sur la pesanteur de l'air.

Ayant eu l'honneur de faire voir à Votre Altesse que l'air est une matière fluide douée de cette propriété tout à fait singulière qu'il se laisse comprimer dans un moindre espace, et qu'il se dilate dans un plus grand, les obstacles étant levés; de sorte que l'air est susceptible tant de condensation que de raréfaction : cette propriété est comprise dans les termes de ressort ou d'élasticité qu'on attribue à l'air, puisqu'elle est semblable à celle d'un ressort qui se laisse resserrer, et qui se débande derechef, les obstacles étant ôtés; mais outre cela, l'air a aussi une propriété qui lui est commune avec tous les corps en général, c'est la gravité ou la pesanteur, par laquelle tous les corps ont un penchant de tomber en bas, et qui les fait descendre actuellement, lorsqu'il n'y a rien qui les soutienne. Les savants sont partagés et incertains sur la véritable cause de cette force; mais il est certain que cette force existe actuellement. Nous en sommes convaincus par l'expérience journalière. Nous en connaissons même la quantité, et nous sommes en état de la mesurer très-exactement. Car le poids d'un corps n'est autre chose que la force qui le pousse en bas; et puisqu'on peut connaître et mesurer exactement le poids de chaque corps, nous connaissons parfaitement l'effet de la gravité, quoique la cause ou cette force invisible qui agit sur tous les corps pour les pousser en bas nous soit absolument inconnue. Par là nous savons que plus un corps contient de matière, plus il est pesant. Ainsi l'or et le plomb sont plus pesants que le bois ou une plume, puisqu'ils renferment plus de matière dans le même volume ou la même étendue. Donc, parce

que l'air est une matière si subtile et si déliée, son poids et sa pesanteur est aussi si petite qu'elle échappe communément à nos sens; cependant il y a des expériences qui nous en convainquent indubitablement. Votre Altesse a vu qu'on peut raréfier l'air dans un vaisseau ou dans un tuyau; et, par le moyen de la machine pneumatique, on peut pousser la chose si loin que l'air en est tout à fait enlevé, et que la cavité du vaisseau devient tout à fait vide; ou bien on prend un tuyau ABCD (*fig.* 4) dans lequel on met d'abord le piston, en sorte qu'il touche parfaitement le fond et qu'il n'y reste point d'air entre le fond et le piston. Pour y mieux réussir, il est bon qu'il y ait dans le fond un petit trou G par lequel l'air puisse sortir pendant qu'on pousse le piston jusqu'au fond; et alors on bouche le trou par un bouchon pour être d'autant plus sûr qu'il n'y a point d'air caché ou comprimé entre le fond et le piston. Après cette préparation on retire le piston, et, puisque l'air de dehors ne saurait pénétrer par le tuyau, on aura un parfait vide dans le tuyau, entre le fond et le piston, qu'on peut rendre, en tirant le piston de plus en plus, aussi grand qu'on voudra. Par un tel moyen on peut vider d'air la cavité d'un vaisseau; et quand on pèse un tel vaisseau vide d'air sur une bonne balance, on trouve qu'il pèse moins que s'il était rempli d'air : d'où l'on tire cette conclusion fort importante, que l'air contenu dans le creux d'un vaisseau en augmente le poids, et partant, que l'air lui-même a un poids. Si la cavité du vaisseau est si grande qu'elle peut contenir 800 livres d'eau, on trouve, par ce moyen, que l'air qui remplit la même cavité pèse environ une livre; d'où l'on conclut que l'air est environ 800 fois moins pesant que l'eau[1]. Cela doit s'entendre de l'air ordinaire qui nous environne et que nous respirons; car Votre Altesse sait que par l'art on peut comprimer l'air en le forçant dans un moindre espace, et par ce moyen il acquiert d'autant plus de pesanteur. Si le vaisseau dont j'ai parlé ci-dessus, qui pourrait contenir 800 livres d'eau, était rempli d'un air deux fois plus comprimé que l'air ordinaire, il pèserait deux livres plus que s'il était vide. S'il était rempli d'un air 800 fois plus comprimé que l'ordinaire, il pèserait 800 livres plus que s'il était vide, ou bien il pèserait autant que s'il était rempli d'eau. Puis donc que l'air est un corps pesant, quoique dans son état naturel sa pesanteur soit très-petite, il est doué d'une force de descendre, et par là il presse ou pèse sur les

Fig. 4.

1. D'après les expérienees de MM. Biot et Arago, le poids de l'air sec à la température de la glaee fondante et sous la pression de $0^m,76$ est, à volume égal, $\frac{1}{770}$ de celui de l'eau distillée.

corps qui se trouvent au-dessous et qui empêchent sa descente. C'est par cette raison que l'air supérieur pèse sur l'inférieur, et celui-ci se trouve dans un état de compression par le poids de toute la masse d'air qui est au-dessus. De là vient que l'air dans notre région a un certain degré de compression ou de densité auquel il est réduit par le poids de l'air supérieur ; et si l'air supérieur était plus ou moins pesant, notre air en deviendrait aussi plus ou moins comprimé. C'est ainsi que l'air en bas soutient le poids de l'air supérieur, et partant, plus nous montons en haut, sur une tour ou une montagne, plus l'air perd de sa densité et devient plus rare ; et en montant toujours plus haut s'il était possible, l'air se perdrait enfin tout à fait, ou deviendrait si subtil et si rare qu'on ne s'en apercevrait plus. Au contraire, quand on descend dans une cave fort profonde, la densité de l'air augmente de plus en plus, puisqu'il y a une plus grande quantité d'air au-dessus. Si l'on faisait un trou jusqu'au centre de la terre, la densité de l'air augmenterait de plus en plus, jusqu'à acquérir celle de l'eau et enfin celle de l'or.

17 mai 1760.

LETTRE XII.

De l'atmosphère et du baromètre.

Ayant fait voir que l'air est une matière fluide, compressible et pesante, je remarque que toute la terre est environnée de toute part d'un tel air qu'on nomme l'*atmosphère*. Aussi est-il impossible qu'aucune contrée de la terre soit dépourvue d'air, et qu'il ne s'y trouve au-dessus rien du tout, ou qu'il y ait un vide parfait ; car l'air des régions voisines étant comprimé par le poids de l'air du dessus, et, faisant par conséquent des efforts continuels pour se dilater, se répandrait subitement par ladite contrée, et remplirait l'espace vide. Ainsi l'atmosphère remplit tout l'espace autour de la terre, et partout l'air d'en bas, soutenant le poids de celui qui est au-dessus, en est comprimé. Or, en comprimant l'air, son élasticité augmente, et chaque degré de compression renferme un certain degré d'élasticité par lequel l'air fait des efforts pour se répandre. Donc l'air est toujours comprimé par le poids de celui qui est au-dessus, jusqu'à ce degré précisément, que son élasticité devienne égale à la force qui le comprime. Alors, quoique cet air ne soit comprimé que d'en haut en vertu de son élasticité, il fait des

efforts pour se répandre en tout sens, nou-seulement en bas, mais aussi vers les côtés; c'est la raison aussi que l'air dans une chambre est aussi comprimé que celui de dehors, ce qui a paru fort paradoxe à quelques philosophes. Car, disent-ils, dans une chambre, l'air qui est en bas n'est comprimé que de l'air qui se trouve au-dessus dans la chambre, pendant que l'air de dehors est comprimé par le poids de l'atmosphère entière, dont la hauteur est presque immense. Mais ce doute est d'abord résolu par cette propriété de l'air, qui, étant comprimé, tâche de se relâcher en tout sens, et l'air de la chambre est d'abord réduit par l'air extérieur au même degré de compression et d'élasticité. Ainsi, soit que nous nous trouvions dans une chambre ou dehors, nous éprouvons la même compression de l'air, bien entendu que ce soit à la même hauteur ou à la même distance du centre de la terre. Car j'ai déjà remarqué qu'en montant sur une haute tour ou montagne, la compression de l'air est plus petite, puisque le poids de l'air qui est au-dessus est alors plus petit. Plusieurs phénomènes nous confirment indubitablement cet état de compression de l'air. Quand on prend un tuyau AB (*fig.* 5), fermé par le bout A, et que, l'ayant rempli d'eau ou d'une autre matière fluide, on le renverse, en sorte que le bout ouvert B vienne en bas, il ne s'en découle rien. L'élasticité ou la compression de l'air, qui pousse le fluide en B, soutient le fluide dans le tuyau. Mais dès qu'on perce le tuyau en A, le fluide tombe d'abord; c'est que l'air agit alors aussi d'en haut par sa pression sur l'eau, et la pousse en bas : d'où l'on comprend que tant que le tuyau est fermé en haut, c'est la force de l'air externe qui y soutient l'eau. Or, si l'on met ce tuyau dans un vaisseau d'où l'on a tiré l'air par la machine pneumatique, aussitôt l'eau tombe. Les anciens, à qui cette propriété de l'air était inconnue, ont dit que la nature soutient le fluide dans le tuyau par la peur et même l'horreur que la nature a pour le vide. Car, disent-ils, si le fluide descendait, il y aurait en haut du tuyau un vide, puisque l'air ne trouverait pas un passage pour y entrer. Aussi, selon eux, c'était la peur du vide qui empêchait le fluide de tomber en bas. Or à présent il est certain que c'est la force de l'air qui soutient le poids du fluide dans le tuyau ; et puisque cette force a une quantité déterminée, cet effet ne saurait surpasser un certain terme. On a trouvé que si le tuyau AB, étant rempli d'eau, est plus long que 33 pieds, l'eau n'y demeure plus suspendue; mais il s'en découle tant qu'il n'en reste dans le tuyau que jusqu'à la hauteur de 33 pieds; et puisque la même force soutient le poids de toute l'atmosphère, on en conclut que l'atmo-

A

B

Fig. 5.

sphère pèse autant qu'une colonne d'eau de 33 pieds de hauteur. Si, au lieu d'eau, on prend du mercure qui est 14 fois plus pesant, la force de l'air n'est capable de le soutenir dans le tuyau qu'à la hauteur de 28 pouces environ ; et si le tuyau est plus haut, le mercure y descend jusqu'à ce que sa hauteur convienne à la pression de l'atmosphère, en laissant au-dessus, dans le tuyau, un espace vide. Un tel tuyau, bouché en haut et ouvert en bas, étant rempli de mercure, fournit cet instrument qu'on nomme *baromètre;* et c'est par là qu'on a connu que l'atmosphère n'est pas toujours également pesante. Car on connaît sa véritable pesanteur par la hauteur du mercure dans le baromètre, laquelle, devenant ou plus grande ou plus petite, indique que l'air ou l'atmosphère est devenu ou plus pesant ou moins pesant. C'est la véritable indication du baromètre; et toutes les fois qu'il monte ou descend, c'est une marque certaine que le poids ou la pression de l'atmosphère augmente ou diminue : c'est ce que je m'étais proposé de présenter à Votre Altesse.

20 mai 1760.

LETTRE XIII.

Des fusils à vent, et sur l'état de compression de l'air dans la poudre à canon.

Ayant expliqué à Votre Altesse cette singulière propriété de l'air par laquelle il se laisse forcer dans un plus petit espace, ce qu'on nomme la *condensation de l'air,* on est en état de rendre raison de plusieurs productions tant de la nature que de l'art. Je commencerai à expliquer les fusils à vent, ne doutant point que cet instrument ne soit bien connu à Votre Altesse. La construction est à peu près semblable à celle des fusils ordinaires ; mais au lieu de la poudre, on se sert d'un air condensé pour tirer la balle. Pour entendre cette manœuvre, il faut remarquer que, pour condenser l'air, il faut employer une force d'autant plus grande que doit être plus grande la condensation. Or, l'air étant condensé, il fait des efforts pour se relâcher, et ces efforts sont précisément égaux à la force requise pour le condenser à ce point. Donc, plus l'air est condensé, plus aussi est grand son effort pour se relâcher ; et si l'air est réduit à une densité deux fois plus grande qu'à l'ordinaire, ce qui arrive lorsqu'on pousse l'air dans un espace deux fois plus petit; la force avec laquelle il tâche de se relâcher est égale à la pression d'une colonne d'eau de la hauteur de 33 pieds. Ou Votre Altesse

n'a qu'à se représenter un grand tonneau de cette hauteur rempli d'eau, et l'eau fera sans doute de grands efforts sur le fond; si l'on y faisait un trou, l'eau sortirait avec une grande force; si l'on voulait boucher ce trou avec le doigt, on sentirait bien cette force de l'eau, et le fond du tonneau soutient partout une semblable force. Or un vaisseau qui contient un air deux fois plus dense qu'à l'ordinaire éprouvera précisément une force égale; et à moins qu'il ne soit assez fort pour soutenir cette force, il en crèvera. Il faut donc que les parois de ce vaisseau soient aussi fortes que le fond dudit tonneau. Si l'air dans ce vaisseau était trois fois plus dense qu'à l'ordinaire, sa force serait encore une fois plus grande, et la même que le fond du tonneau de 66 pieds de hauteur soutiendrait étant rempli d'eau. Votre Altesse comprendra aisément que cette force sera très-grande, et elle croît encore selon la même règle, si l'air est condensé 4 fois, 5 fois ou plus qu'à l'ordinaire. Cela posé, il y a au fond d'un fusil à vent une cavité bien fermée de toutes parts, dans laquelle on forcede plus en plus l'air pour l'y réduire à un aussi haut degré de densité que les forces qu'on emploie en sont capables, et par ce moyen l'air renfermé dans cette cavité acquerra une terrible force pour échapper; et quand on y fait un trou, il en échappera actuellement avec cette force. Un tel trou s'y trouve effectivement, qui aboutit dans la cavité du tuyau où l'on met la balle. Ce trou est bien bouché; mais quand on veut tirer, on fait un certain mouvement par lequel le trou s'ouvre pour un moment, et l'air, s'échappant, pousse la balle en avant avec cette grande force avec laquelle nous la voyons sortir. Chaque fois qu'on tire, ce trou ne demeure ouvert qu'un instant, et partant il ne s'en échappe qu'une petite quantité d'air, et il en reste encore assez pour tirer plusieurs fois. Mais chaque fois la densité de l'air, et partant aussi sa force diminue; ce qui est la raison que les coups suivants sont moins forts que les premiers, et que leur force se perd entièrement. Si le trou mentionné demeurait plus long-temps ouvert, il s'en échapperait plus de vent, et pour la plupart inutilement, car cette force n'agit sur la balle que tant qu'elle se trouve dans le tuyau du fusil; dès qu'elle est sortie, il est inutile que le trou soit encore ouvert. De là on comprendra aisément que si l'on pouvait pousser la condensation de l'air beaucoup plus loin, on pourrait, par des fusils à vent, produire les mêmes effets que par les fusils ordinaires et les canons. En effet aussi, l'effet de l'artillerie est fondé sur le même principe. La poudre à canon n'est autre chose qu'une matière qui contient dans ses pores un air extrêmement condensé [1]. C'est la

1. L'explication d'Euler se ressent de l'état d'enfance où était alors la chimie.

nature même qui y a fait les mêmes opérations que nous faisons en comprimant l'air ; mais la nature y a porté la condensation à un bien plus haut degré. Il s'agit seulement d'ouvrir ces petites cavités où cet air condensé est renfermé pour lui procurer la liberté d'échapper. Or cela se fait par le moyen du feu qui brise ces petites cavités, et cet air enfermé échappe subitement avec la plus grande force, et pousse les balles et les boulets d'une manière tout à fait semblable à celle que nous avons vue dans les fusils à vent, mais avec beaucoup plus de force. Voilà donc deux effets bien surprenants qui tirent leur origine de la condensation de l'air, avec la seule différence que dans l'un la condensation a été exécutée par l'art, et dans l'autre par la nature même. Or on voit ici, comme partout, que les opérations de la nature sont infiniment supérieures à celles que l'adresse humaine est capable de produire; et partout nous trouvons les sujets les plus éclatants d'admirer la puissance et la sagesse de l'auteur de la nature.

24 mai 1760.

LETTRE XIV.

Sur l'effet que la chaleur et le froid produisent dans tous les corps, et sur les pyromètres et thermomètres.

Outre les qualités de l'air que j'ai eu l'honneur d'exposer à Votre Altesse, il y en a encore une fort remarquable qui lui est commune avec tous les corps, sans même en excepter les solides ; c'est le changement que le froid et le chaud y produisent. On observe généralement que tous les corps étant chauffés deviennent plus grands. Une barre de fer, lorsqu'elle est fort chaude, est un peu plus longue et plus épaisse que lorsqu'elle est froide. On a un instrument nommé *pyromètre* qui est construit en sorte qu'il indique sensiblement les plus petits allongements ou raccourcissements que souffre une barre qu'on y applique. Votre Altesse sait que dans une montre quelques roues marchent fort lentement, pendant que le mouvement des autres est fort

La poudre à canon est un simple *mélange* de salpêtre (azotate de potasse), de soufre et de charbon. Il n'y a point là de gaz tout formé. C'est la combustion même de la poudre qui détermine la formation d'un produit gazeux, non pas homogène, comme paraît le croire Euler, mais composé d'acide carbonique, d'azote, d'oxyde de carbone et de vapeur d'eau. — Suivant M. Gay-Lussac, un litre de poudre pesant 900 grammes donne, à 0° et à la pression 0m,76, environ 450 litres de gaz, ce qui explique l'explosion et toutes ses suites.



rapide, quoiqu'il soit néanmoins produit par le mouvement lent des premières. C'est ainsi que, par une espèce d'horlogerie, on peut faire que d'un changement presque insensible il en résulte un qui soit très-considérable, et c'est ce qu'on pratique dans cet instrument nommé *pyromètre*, dont je viens de parler. En y posant une barre de fer ou de quelque autre matière que ce soit, lorsqu'elle devient tant soit peu plus longue ou plus courte, il y a un indice, comme dans une montre, qui en est poussé à parcourir un espace très-considérable : quand on applique sur cet instrument une barre de fer ou d'une autre matière, et qu'on place au-dessous une lampe pour la chauffer, l'indice est d'abord mis en mouvement, et montre que la barre devient plus longue; et plus la chaleur augmente, plus aussi la barre croît en longueur; mais lorsqu'on éteint la lampe et qu'on laisse refroidir la barre, l'indice se meut en sens contraire, et marque par là que la barre redevient plus courte. Cependant ce changement est si petit qu'on aurait bien de la peine à s'en apercevoir sans le secours de cet instrument. On s'aperçoit pourtant aussi de cette variation dans les horloges à pendule qu'on nomme simplement des *pendules*. Le pendule y est appliqué pour modérer le mouvement: de sorte que si l'on allonge le pendule, l'horloge marche plus lentement; et si l'on raccourcit le pendule, l'horloge avance trop. Or, on remarque que dans les grandes chaleurs toutes ces horloges marchent trop lentement, et dans les grands froids trop vite, ce qui est une marque certaine que le pendule devient plus long dans les chaleurs et plus court dans les froids. Une telle variabilité, causée par la chaleur et le froid, a lieu dans tous les corps, mais elle diffère beaucoup selon la nature de la matière dont les corps sont formés; il y en a qui y sont beaucoup plus sensibles que d'autres. Dans les corps fluides, cette variabilité est surtout fort sensible. Pour s'en assurer, on prend un tuyau de verre BC (*fig.* 6) joint par le bout B à une boule creuse A, et on le remplit de quelque liqueur que ce soit, par exemple, jusqu'en M. Alors, quand on chauffe la boule A, la liqueur montera de M vers C; et quand le froid y survient, la liqueur descend en bas vers B : d'où l'on voit très-clairement que la même liqueur occupe un plus grand espace dans la chaleur et un plus petit dans le froid. On voit aussi que cette variation doit être plus sensible lorsque la boule est large et le tuyau étroit; car si toute la masse de la liqueur augmente ou diminue de sa millième partie, cette millième partie occupera dans le tuyau un d'autant plus grand espace que le tuyau sera plus étroit.

C
M
B
A

Fig. 6.

Un tel instrument est donc réciproquement fort propre à nous indiquer les divers degrés de chaleur et de froid ; car si dans cet instrument la liqueur monte ou descend, c'est une marque très-sûre que la chaleur augmente ou diminue. C'est cet instrument, qu'on nomme un *thermomètre*, qui sert à nous indiquer les changements de la chaleur et du froid ; et cet instrument est tout à fait différent de celui qu'on nomme *baromètre*, qui nous indique la pesanteur de l'air, ou plutôt la force dont l'air ici-bas est comprimé. Cet avis est d'autant plus nécessaire que les baromètre et thermomètre se ressemblent ordinairement beaucoup entre eux, étant tous les deux des tuyaux de verre remplis de mercure ; mais leur construction et les principes sur lesquels ils sont fondés sont tout à fait différents. Cette même qualité dont tous les corps s'étendent par la chaleur et se contractent par le froid convient aussi à l'air, et cela dans un degré fort éminent. Je me propose d'en parler plus au long l'ordinaire prochain.

27 mai 1760.

LETTRE XV.

Des changements que la chaleur et le froid produisent dans l'atmosphère.

La chaleur et le froid produisent sur l'air le même effet que sur les autres corps. Par la chaleur l'air est raréfié, et par le froid il est condensé. Or, par ce que j'ai eu l'honneur d'expliquer à Votre Altesse, une certaine quantité d'air n'est pas déterminée à occuper un certain espace comme tous les autres corps ; mais par sa nature l'air tend toujours à s'étendre davantage, et s'étend aussi, en effet, dès qu'il ne rencontre point d'obstacle qui s'oppose à son extension ultérieure : c'est cette propriété qu'on nomme l'*élasticité* de l'air. Ainsi, si l'air est renfermé dans un vaisseau, il fait des efforts pour rompre le vaisseau, et cet effort est d'autant plus grand que l'air est plus condensé dans le vaisseau : d'où on a tiré cette règle, que l'élasticité de l'air est proportionnelle à sa densité ; de sorte que si l'air est deux fois plus dense, son élasticité est aussi deux fois plus grande, et, en général, qu'à chaque degré de densité répond un certain degré d'élasticité. Mais maintenant il faut remarquer que cette règle n'est vraie qu'autant que l'air conserve le même degré de chaleur. Dès que l'air devient plus chaud, il acquiert une plus grande force pour s'étendre que celle qui conviendrait à sa densité ;

et le froid y produit un effet contraire en diminuant sa force expansive. Donc, pour connaître la vraie élasticité d'une masse d'air, il ne suffit pas d'en savoir la densité, il faut aussi connaître le degré de chaleur qui lui convient. Pour mettre cela mieux dans son jour, concevons deux chambres bien fermées de toutes parts, mais qui aient une communication moyennant une porte, et qu'il règne le même degré de chaleur dans les deux chambres. Il faut donc que dans l'une et l'autre l'air se trouve au même degré de densité : car si l'air était plus dense et par conséquent plus élastique dans l'une que dans l'autre, il en échapperait une partie de celle-là pour entrer en celle-ci, jusqu'à ce que la densité dans toutes les deux chambres devînt la même. Mais à présent supposons qu'une chambre devienne plus chaude que l'autre : l'air, en y acquérant une plus grande élasticité, se répandra en effet, et, en entrant dans l'autre chambre, y réduira l'air dans un moindre espace jusqu'à ce que l'élasticité, dans l'une et l'autre chambre, soit portée au même degré. Pendant que cela arrive, il y aura un vent qui passe par la porte de la chambre chaude dans la froide; et quand l'équilibre sera rétabli, l'air sera plus raréfié dans la chaude et plus condensé dans la froide : cependant l'élasticité de l'un et de l'autre air sera la même. De là il est clair que deux masses d'air d'une densité différente peuvent avoir la même élasticité, savoir : lorsque l'une est plus chaude que l'autre, et *sous* cette circonstance il peut arriver que deux masses d'air d'un même degré de densité soient douées de divers degrés d'élasticité. Ce que je viens de dire des deux chambres peut être appliqué à deux contrées; d'où l'on comprend que, lorsqu'une contrée devient plus chaude que l'autre, l'air doit nécessairement couler de l'une vers l'autre : d'où résulte un vent. Voilà donc une source bien féconde des vents, quoiqu'il y en ait peut-être aussi d'autres, qui consistent dans les divers degrés de chaleur qui règnent en différentes régions de la terre; et l'on peut démontrer que tout l'air autour de la terre ne saurait être en repos, à moins que partout, à hauteurs égales, ne se trouve le même degré, non-seulement de densité, mais aussi de chaleur. Et s'il n'y avait point de vent sur toute la surface de la terre, on en pourrait sûrement conclure que l'air serait aussi partout également dense et chaud à égales hauteurs. Or, comme cela n'arrive jamais, il faut absolument qu'il y ait toujours des vents au moins en quelques régions; mais ces vents ne se trouvent, pour la plupart, que sur la surface de la terre : et plus on s'élève a des hauteurs, moins les vents sont violents. Sur les plus hautes montagnes on ne remarque presque plus de vent, et il y règne un calme perpétuel; d'où

l'on ne saurait douter qu'à des hauteurs plus grandes l'air ne demeure toujours en repos. De là il s'ensuit qu'à des régions si élevées il règne partout, sur toute la terre, le même degré de densité et de chaleur; car s'il fait plus chaud dans un lieu que dans un autre, l'air n'y saurait être en repos, mais il y aurait un vent. Donc, puisqu'il n'y a point de vent dans ces régions élevées, il faut nécessairement que le degré de chaleur y soit partout et toujours le même; ce qui est sans doute un paradoxe fort surprenant, vu les grandes variations de chaud et de froid que nous éprouvons ici-bas pendant le cours d'une année et même d'un jour à l'autre, sans parler des différents climats, c'est-à-dire des chaleurs insupportables sous l'équateur, et des glaces effroyables sous les pôles de la terre. Cependant l'expérience elle-même confirme la vérité de ce grand paradoxe. Sur les hautes montagnes de la Suisse la neige et la glace durent également l'été et l'hiver; et sur les Cordilières, qui sont de hautes montagnes au Pérou, en Amérique, situées sous l'équateur même, la neige et la glace y sont inaltérables, et il y règne un froid aussi excessif que dans les régions polaires. La hauteur de ces montagnes n'est pas encore d'un mille d'Allemagne ou de 24,000 pieds; d'où l'on peut hardiment conclure que si nous pouvions voler à une hauteur de 24,000 pieds au-dessus de la terre, nous y rencontrerions toujours et partout le même degré de froid [1], et même un froid très-excessif. Nous n'y remarquerions aucune différence ni pendant l'été ou l'hiver, ni près de l'équateur ou des pôles. A cette hauteur et encore plus haut l'état de l'atmosphère est partout et toujours le même, et les variations entre le chaud et le froid n'ont lieu qu'ici-bas auprès de la surface de la terre. Ce n'est qu'ici-bas que l'effet des rayons du soleil devient sensible. Votre Altesse sera sans doute curieuse d'en apprendre la raison, et ce sera le sujet auquel je m'appliquerai l'ordinaire prochain.

31 mai 1760.

1. Euler se trompe : la limite des neiges perpétuelles varie avec la latitude. — D'après l'*Annuaire du Bureau des Longitudes*, les hauteurs de la limite inférieure de ces neiges sont :

à 0° de latitude ou sous l'équateur.	4800m
à 20°.	4600
à 45°.	2550
à 65°.	1600

LETTRE XVI.

Pourquoi on éprouve partout et dans toutes les saisons le même degré de froid, lorsqu'on monte sur les plus hautes montagnes, aussi bien que lorsqu'on descend dans les caves les plus profondes.

C'est un phénomène bien étrange que partout, sur la terre, lorsqu'on monte à une très-grande hauteur, comme de 24,000 pieds (supposé que cela fût possible), on y éprouve le même degré de froid, pendant qu'ici-bas les variations de la chaleur sont si considérables, non-seulement par rapport aux différents climats, mais aussi au même endroit, selon les différentes saisons de l'année. Cette variété en bas est sans doute causée par le soleil; et il semble que son influence devrait être la même en haut et en bas, surtout quand nous pensons qu'une hauteur de 24,000 pieds, ou d'un mille, n'est absolument rien par rapport à la distance du soleil, qui est d'environ trente millions de milles, quoique cette hauteur soit fort grande à notre égard, et surpasse même les plus hauts nuages; c'est donc un doute fort important qu'il faut tâcher de résoudre. Pour cet effet, je remarque d'abord que les rayons du soleil n'échauffent les corps qu'autant que les corps ne leur accordent pas un libre passage à travers. Votre Altesse sait qu'on nomme ces corps *transparents*, *pellucides* et *diaphanes*, à travers lesquels nous pouvons voir les objets. Ces corps sont le verre, le cristal, le diamant, l'eau et plusieurs autres liqueurs, quoique les unes soient plus ou moins transparentes que les autres. Un tel corps transparent étant exposé au soleil n'en devient pas autant échauffé qu'un autre corps non transparent, comme du bois, du fer, etc. Tels corps qui ne sont pas transparents sont nommés *opaques :* ainsi un verre ardent, en transmettant les rayons du soleil, brûle les corps opaques, et cependant le verre lui-même n'en est pas échauffé. Aussi l'eau étant exposée au soleil n'en devient un peu chaude qu'en tant qu'elle n'est pas parfaitement transparente; et quand nous voyons que l'eau, vers les bords des rivières, est assez échauffée par le soleil, c'est que le fond, comme un corps opaque, est échauffé par les rayons transmis par l'eau. Or un corps chaud échauffe toujours ceux qui lui sont voisins, et partant l'eau dont je viens de parler est échauffée par le fond : mais si l'eau est très-profonde, de sorte que les rayons ne puissent pénétrer jusqu'au fond, on n'y sent presque point de chaleur,

quoique le soleil y donne bien fort. Maintenant l'air est un corps très-transparent, et même dans un plus haut degré que le verre ou l'eau; d'où il s'ensuit que l'air ne saurait être échauffé par le soleil, puisque les rayons passent librement à travers. Toute la chaleur que nous sentons souvent dans l'air lui est communiquée par les corps opaques qui ont été échauffés par les rayons du soleil; et s'il était possible d'anéantir tous ces corps, l'air ne souffrirait presque aucun changement dans sa température par les rayons du soleil; il demeurerait également froid, soit qu'il fût exposé au soleil ou non : cependant l'air ici-bas n'est pas parfaitement transparent; quelquefois même il est tellement chargé de vapeurs, qu'il perd presque entièrement sa transparence, en nous présentant un brouillard; et quand l'air se trouve dans un tel état, les rayons du soleil y ont plus de prise et le peuvent échauffer immédiatement. Mais de telles vapeurs ne montent pas fort haut, et à la hauteur de 24,000 pieds et au delà l'air est si subtil et si pur qu'il est parfaitement transparent, et partant les rayons du soleil n'y sauraient immédiatement produire aucun effet. Cet air est aussi trop éloigné des corps terrestres, pour qu'ils lui puissent communiquer leur chaleur; une telle communication ne saurait aller fort loin. De là Votre Altesse comprendra aisément que dans les régions fort élevées au-dessus de la surface de la terre, les rayons du soleil ne sauraient produire aucun effet; et partant il doit y régner partout et toujours le même degré de froid, puisque le soleil n'y a aucune influence, et que la chaleur des corps terrestres ne saurait se communiquer jusque-là. Il en est à peu près de même sur les hautes montagnes, où il fait toujours plus froid que sur les plaines et les vallées. La ville de Quito, au Pérou, se trouve presque sous l'équateur, et, à juger de sa situation, la chaleur y devrait être insupportable; cependant l'air y est assez tempéré et ne diffère pas beaucoup de celui de Paris. Or cette ville est située sur une grande hauteur au-dessus de la véritable surface de la terre; quand on y va de la mer, il faut monter pendant plusieurs jours, de sorte que le terrain y est aussi élevé que les plus hautes montagnes qu'on nomme les Cordilières. A cause de cette dernière circonstance, il semble bien que l'air y devrait devenir aussi chaud que sur la surface de la terre, puisqu'il touche partout à des corps opaques sur lesquels tombent les rayons du soleil. Cette objection est bien forte, et il ne saurait y avoir d'autre raison que celle que l'air à Quito étant fort élevé doit être beaucoup plus subtil et moins pesant que chez nous, comme le baromètre y étant aussi de quelques pouces plus bas que chez

nous le prouve incontestablement. Or un tel air n'est pas susceptible de tant de chaleur qu'un air plus grossier, puisqu'il ne peut pas contenir tant de vapeurs et d'autres particules qui voltigent ordinairement dans l'air : or nous savons, par l'expérience, qu'un air fort chargé est beaucoup plus propre à devenir chaud. Je peux encore ajouter un autre phénomène semblable qui n'est pas moins surprenant : c'est que dans les caves très-profondes, ou encore plus bas, s'il est possible d'y parvenir, il y règne partout et toujours le même degré de chaleur; la raison en est à peu près la même. Comme les rayons du soleil ne produisent leur effet que sur la surface de la terre, d'où ils se communiquent aussi bien en haut qu'en bas, cette communication ne pouvant pénétrer fort loin, les très-grandes profondeurs y seront absolument insensibles, de même que les trop grandes hauteurs. J'espère que ce dénoûment satisfera la curiosité de Votre Altesse [1].

3 juin 1760.

LETTRE XVII.

Sur les rayons de la lumière et sur les systèmes de Descartes et de Newton.

Ayant tant parlé des rayons du soleil, qui contiennent la source de toute la chaleur et de la lumière dont nous jouissons, Votre Altesse demandera sans doute ce que c'est que les rayons du soleil? c'est sans contredit une des plus importantes questions de la physique, et de laquelle dépendent une infinité de phénomènes. Tout ce qui regarde la lumière et ce qui nous rend visibles les objets est étroitement lié avec cette question. Les anciens philosophes semblent s'être fort peu souciés du dénoûment de cette question. La plupart se sont contentés de dire que le soleil est doué d'une qualité d'échauffer et d'éclairer ou de luire; mais on a bien raison de demander en quoi consiste cette qualité? Est-ce que quelque chose du soleil même ou de sa substance parvient jusqu'à nous? ou bien se passerait-il quelque chose de semblable à une cloche dont le son parvient jusqu'à nous, sans que la moindre partie de la cloche

1. Des observations souvent répétées dans l'intérieur des mines les plus profondes ont prouvé que la température du globe augmente environ de 1° pour un accroissement de profondeur de 25 à 30^{m}. Comme cette augmentation ne peut s'expliquer par les variations diurnes et annuelles de la température à la surface, lesquelles résultent de l'absorption inégale des rayons solaires, on en a conclu avec raison que la terre possède une chaleur primitive qui lui est propre, et qu'elle perd lentement par le rayonnement dans l'espace.

soit transportée à nos oreilles, comme j'ai eu l'honneur d'exposer à Votre Altesse en expliquant la propagation et la perception du son? Descartes, le premier des philosophes modernes, soutenait ce dernier sentiment, et, ayant rempli tout l'univers d'une matière subtile composée de petits globules, qu'il nomme le second élément, il met le soleil dans une agitation perpétuelle qui frappe sans cesse ces globules, et ceux-ci communiquent leurs mouvements dans un instant par tout l'univers. Mais depuis qu'on a découvert que les rayons du soleil ne parviennent pas dans un instant jusqu'à nous, mais qu'il leur faut un temps d'environ 8 minutes pour parcourir cette grande distance, le sentiment de Descartes a été abandonné, sans parler d'autres grands inconvénients qui l'accompagnent. Ensuite le grand Newton a embrassé le premier sentiment, et a soutenu que les rayons du soleil sortent réellement du corps du soleil, et que des particules extrêmement subtiles en sont lancées et dardées avec cette vitesse inconcevable dont elles sont portées du soleil jusqu'à nous en 8 minutes environ. Ce sentiment, qui est celui de la plupart des philosophes d'aujourd'hui, et surtout des Anglais, est nommé le *système de l'émanation;* puisqu'on croit que les rayons émanent actuellement du soleil, et aussi des autres corps lumineux, tout comme l'eau émane ou saute d'une fontaine. Ce sentiment paraît d'abord fort hardi et choquant la raison; car si le soleil jetait continuellement et en tout sens de tels fleuves de matière lumineuse avec une si prodigieuse vitesse, il semble que la matière du soleil en devrait être bientôt épuisée, ou du moins il faudrait qu'on y remarquât depuis tant de siècles quelque diminution, ce qui est pourtant contraire aux observations. Certainement une fontaine qui jetterait en tout sens des traits d'eau serait d'autant plus tôt épuisée que la vitesse en serait grande; et partant la prodigieuse vitesse des rayons devrait bientôt épuiser le corps du soleil. On a beau supposer les particules dont les rayons sont formés, aussi subtiles qu'on voudra, on ne gagnera rien; le système demeure toujours également révoltant. On ne peut pas dire que cette émanation ne se fasse pas tout autour et en tout sens; car en quelque endroit qu'on soit placé, on voit le soleil tout entier, ce qui prouve incontestablement que vers cet endroit sont lancés des rayons de tous les points du soleil. Le cas est donc bien différent de celui d'une fontaine qui jetterait même des traits d'eau en tout sens. Ici ce n'est que d'un seul endroit d'où le trait sort vers une certaine contrée, chaque point ne lancerait qu'un seul trait; mais pour le soleil, chaque point de sa surface lance une infinité de traits qui

se répandent en tout sens. Cette seule circonstance augmente infiniment la dépense de matière lumineuse que le soleil devrait faire. Mais il y a encore un autre inconvénient qui ne paraît pas plus petit, qui est que non-seulement le soleil jette des rayons, mais aussi toutes les étoiles. Donc, puisque partout il y aurait des rayons du soleil et des étoiles qui se rencontreraient mutuellement, avec quelle impétuosité devraient-ils se choquer les uns les autres! et combien leur direction en devrait-elle être changée! Une semblable croisée devrait arriver en tous les corps lumineux qu'on voit à la fois : cependant chacun paraît distinctement, sans souffrir le moindre dérangement des autres; et c'est une preuve bien certaine que plusieurs rayons peuvent passer par le même point sans se troubler les uns les autres, ce qui semble inconciliable avec le système de l'émanation. En effet, on n'a qu'à faire en sorte que deux jets d'eau se rencontrent, on verra d'abord qu'ils se troubleront terriblement dans leur mouvement; d'où l'on voit que le mouvement des rayons de lumière est très-essentiellement différent de celui des jets d'eau, et en général de toutes les matières qui seraient lancées. Ensuite, en considérant les corps transparents par lesquels les rayons passent librement et en tout sens, les partisans de ce sentiment sont obligés de dire que ces corps renferment des pores disposés en lignes droites, qui passent de chaque point de sa surface en tout sens, puisqu'on ne saurait concevoir aucune ligne par laquelle ne puisse passer un rayon du soleil, et cela avec cette inconcevable vitesse et même sans heurter. Voilà des corps bien criblés, qui cependant nous paraissent bien solides. Enfin, pour voir, il faut que les rayons entrent dans nos yeux et qu'ils en traversent la substance avec la même vitesse. Je crois que tous ces inconvénients convaincront Votre Altesse suffisamment que ce système de l'émanation ne saurait en aucune manière avoir lieu dans la nature, et Votre Altesse sera sans doute bien étonnée que ce même système ait été imaginé par un si grand homme, et embrassé par tant de philosophes éclairés. Mais Cicéron a déjà fait la remarque qu'on ne saurait imaginer rien de si absurde que les philosophes ne soient capables de soutenir. Pour moi, je suis trop peu philosophe pour embrasser ce sentiment.

7 juin 1760.

LETTRE XVIII.

Sur les inconvénients qu'on rencontre dans ce dernier système de l'émanation.

Quelque étrange que puisse paraître à Votre Altesse le sentiment du grand Newton, que les rayons proviennent du soleil par une émanation actuelle, il a pourtant trouvé une approbation si générale, que presque personne n'en osait douter. Ce qui y a contribué le plus, c'est sans doute la grande autorité de cet éminent philosophe anglais, qui a le premier découvert les véritables lois des mouvements des corps célestes. Or cette même découverte l'a porté au système de l'émanation. Descartes, pour soutenir son explication, fut obligé de remplir tout l'espace du ciel d'une matière subtile, au travers de laquelle tous les corps célestes se meuvent tout à fait librement. Mais on sait que si un corps se meut par l'air, il rencontre une certaine résistance; et de là Newton a conclu que, quelque subtile qu'on suppose la matière du ciel, les planètes y devraient éprouver quelque résistance dans leur mouvement. Mais, dit-il, ce mouvement n'est assujetti à aucune résistance; d'où il s'ensuit que l'espace immense des cieux ne contient aucune matière. Il y règne donc partout un vide parfait, et c'est un des principaux dogmes de la philosophie newtonienne que l'immensité de l'univers ne renferme point du tout de matière dans les espaces qui se trouvent entre les corps célestes. Cela posé, il y aura depuis le soleil jusqu'à nous, ou du moins jusqu'à l'atmosphère de la terre, un vide parfait; et, en effet, plus nous montons en haut, plus nous trouvons l'air subtil : d'où il semble qu'il se doit enfin perdre tout à fait. Or, si l'espace entre le soleil et la terre est absolument vide, il est impossible que les rayons viennent jusqu'à nous par voie de communication, comme le son d'une cloche nous est communiqué par le moyen de l'air; de sorte que si l'air, depuis la cloche jusqu'à nous, était anéanti, nous n'entendrions absolument rien, avec quelque force qu'on frappât la cloche. Ayant donc établi un vide parfait entre les corps célestes, il ne reste plus d'autre sentiment à embrasser que celui de l'émanation; et cette raison a obligé Newton de soutenir que le soleil, et semblablement aussi tous les corps lumineux, lancent les rayons actuellement, et que les rayons sont toujours une partie réelle du corps lumineux qui est chassée avec une force terrible. Il faudrait bien

que cette force fût terrible pour imprimer aux rayons cette vitesse inconcevable dont ils viennent du soleil jusqu'à nous en 8 minutes de temps. Mais voyons maintenant si cette explication peut subsister avec la principale vue de Newton, qui exige un espace absolument vide dans les cieux, afin que les planètes ne rencontrent aucune résistance. Votre Altesse jugera aisément que les espaces du ciel, au lieu de rester vides, seront remplis des rayons non-seulement du soleil, mais encore de toutes les autres étoiles qui les traversent de toutes parts et en tout sens continuellement, et cela avec la plus grande rapidité. Donc les corps célestes qui traversent ces espaces, au lieu d'y rencontrer un vide, y trouveront la matière des rayons lumineux dans la plus terrible agitation, par laquelle les corps doivent être beaucoup plus troublés dans leur mouvement que si cette même matière y était en repos. Donc Newton ayant eu peur qu'une matière subtile, telle que Descartes la supposait, ne troublât le mouvement des planètes, fut conduit à un expédient bien étrange et tout à fait contraire à sa propre intention; vu que par ce moyen, les planètes devraient essuyer un dérangement infiniment plus considérable. Voilà un exemple bien triste de la sagesse humaine, qui, voulant éviter un certain inconvénient, tombe souvent en de plus grandes absurdités. J'ai déjà eu l'honneur d'exposer à Votre Altesse tant d'autres difficultés insurmontables dont le système de l'émanation est rempli; et maintenant nous voyons que la principale et même l'unique raison qui a engagé Newton à ce sentiment est si contradictoire en elle-même qu'elle le renverse tout à fait. Toutes ces raisons prises ensemble ne nous sauraient laisser balancer un moment d'abandonner cet étrange système de l'émanation de la lumière, quelque grande que puisse être l'autorité du philosophe qui l'a établi. Newton a été sans contredit un des plus grands génies qui aient jamais existé, et sa profonde science et sa pénétration dans les mystères les plus cachés de la nature demeurera toujours le plus éclatant sujet de notre admiration et de celle de notre postérité; mais les égarements de ce grand homme doivent servir à nous humilier et à reconnaître la faiblesse de l'esprit humain, qui, s'étant élevé au plus haut degré dont les hommes soient capables, risque néanmoins souvent de se précipiter dans les erreurs les plus grossières. Si nous sommes assujettis à des chutes si tristes dans nos recherches sur les phénomènes de ce monde visible qui frappe nos sens, combien serions-nous malheureux si Dieu nous avait abandonnés à nous-mêmes à l'égard des choses invisibles et qui regardent notre salut éternel! Sur cet important article, une révélation nous a été absolument nécessaire;

nous devons en profiter avec la plus grande vénération; et lorsqu'elle nous présente des choses qui nous paraissent inconcevables, nous n'avons qu'à nous servir de notre faiblesse d'esprit, qui s'égare si aisément, même dans les choses visibles. Toutes les fois que je vois de ces esprits forts qui critiquent les vérités de notre religion, et s'en moquent même avec la plus impertinente suffisance, je pense : Chétifs mortels, combien et combien de choses sur lesquelles vous raisonnez si légèrement, sont-elles plus sublimes et plus élevées que celles sur lesquelles le grand Newton s'égare si grossièrement! Je souhaiterais que Votre Altesse n'oubliât jamais cettte réflexion; les occasions n'arrivent ici que trop souvent où l'on en a besoin.

10 juin 1760.

LETTRE XIX.

Exposition d'un autre système sur la nature des rayons et de la lumière.

Votre Altesse vient de voir que le système de l'émanation est assujetti à des difficultés invincibles, et que le sentiment d'un vide qui occuperait tout l'espace entre les corps célestes ne saurait avoir lieu en aucune façon, puisque les rayons de lumière mêmes le rempliraient tout à fait. On est donc obligé de convenir de deux choses : l'une, que les espaces entre les corps célestes sont remplis d'une matière subtile; et l'autre, que les rayons ne sont pas une émanation actuelle du soleil et des autres corps lumineux par laquelle une partie de leur substance en soit élancée, comme Newton a prétendu. Cette matière subtile qui remplit tous les espaces des cieux entre les corps célestes est nommée l'*éther*, dont l'extrême subtilité ne saurait être révoquée en doute. Pour nous en former une idée, nous n'avons qu'à considérer l'air, qui, étant une matière fort subtile ici-bas, le devient de plus en plus en montant en haut; et enfin il se perd pour ainsi dire entièrement, ou bien il va se confondre avec l'éther. L'éther est donc aussi une matière fluide comme l'air, mais incomparablement plus subtile et plus déliée, puisque nous savons que les corps célestes le traversent librement sans y rencontrer quelque résistance sensible. Il a sans doute aussi une élasticité par laquelle il tend à se répandre en tout sens et à pénétrer dans les espaces qui pourraient être vides; de sorte que, si par quelque accident l'éther était chassé

ou vibrations transmises par l'air. Il n'y a donc rien qui vienne actuellement du soleil jusqu'à nous, aussi peu que d'une cloche lorsque son bruit parvient à nos oreilles. Dans ce système, il n'y a point de danger que le soleil, en luisant, perde la moindre chose de sa substance, non plus qu'une cloche en sonnant. Ce que j'ai dit du soleil se doit aussi entendre de tous les corps luisants, comme du feu d'une bougie, d'une chandelle, etc. Votre Altesse m'objectera sans doute que ces lumières terrestres ne se consument que trop évidemment; et qu'à moins qu'elles ne soient entretenues et nourries sans cesse, leur lumière est bientôt éteinte : d'où il semble que le soleil devrait se consumer également, et que le parallèle d'une cloche est fort mal employé. Mais il faut bien considérer que ces feux, outre qu'ils luisent, jettent de la fumée et quantité d'exhalaisons, qu'il faut bien distinguer des rayons de lumière qui éclairent. Or la fumée et les exhalaisons y causent sans doute une perte considérable qu'il ne faut pas attribuer aux rayons de la lumière; si on les pouvait délivrer de la fumée et des autres exhalaisons, la seule qualité de luire ne causerait aucune perte. On peut rendre le mercure luisant par un certain artifice, comme Votre Altesse se souviendra bien de l'avoir vu; et par cette lumière, le mercure ne perd rien de sa substance : d'où l'on voit que la seule lumière ne cause aucune perte dans les corps luisants. Ainsi, quoique le soleil éclaire tout le monde par ses rayons, il n'en perd rien de sa propre substance, toute sa lumière n'étant causée que par une certaine agitation ou un ébranlement extrêmement vif dans ses moindres particules, qui se communique à l'éther voisin, et est transmis de là en tout sens par l'éther jusqu'aux plus grandes distances, de même qu'une cloche ébranlée communique à l'air une semblable agitation. Plus on considère ce parallèle entre les corps sonores et luisants, et plus on le trouvera conforme et d'accord avec l'expérience; au lieu que le système de l'émanation révolte d'autant plus qu'on en veut faire l'application aux phénomènes.

14 juin 1760.

LETTRE XX.

Sur la propagation de la lumière.

Pour ce qui regarde la propagation de la lumière par l'éther, elle se fait d'une manière semblable à la propagation du son par l'air; et comme un ébranlement causé dans les particules de l'air

constitue le son, de même un ébranlement causé dans les particules de l'éther constitue la lumière ou les rayons de lumière : de sorte que *la lumière n'est autre chose qu'une agitation ou ébranlement causé dans les particules de l'éther*, qui se trouve partout, à cause de l'extrême subtilité avec laquelle il pénètre tous les corps. Cependant ces corps modifient en différentes manières les rayons, selon qu'ils transmettent ou arrêtent la propagation des ébranlements ; c'est ce dont je parlerai plus amplement dans la suite. Maintenant je me borne à la propagation des rayons de l'éther même, qui remplit les immenses espaces entre le soleil et nous et en général entre tous les corps célestes. C'est là que la propagation se fait tout à fait librement. La première chose qui se présente ici à notre esprit, c'est la prodigieuse vitesse des rayons de la lumière, qui est environ 900,000 fois plus rapide que la vitesse du son, qui parcourt pourtant chaque seconde un chemin de 1,000 pieds. Cette terrible vitesse suffirait déjà à renverser le système de l'émanation ; mais, dans ce système-ci, elle est une suite naturelle de nos principes : ce que Votre Altesse verra avec une pleine satisfaction. Ce sont les mêmes principes sur lesquels est fondée la propagation du son par l'air, laquelle dépend, d'un côté, de la densité de l'air, et, de l'autre, de son élasticité. Or cette dépendance nous donne à connaître que si la densité de l'air devenait plus petite, le son en serait accéléré ; et si l'élasticité de l'air devenait plus grande, le son serait aussi accéléré. Donc, si à la fois la densité de l'air devenait plus petite et son élasticité plus grande, il y aurait une double raison pour augmenter la vitesse du son. Concevons donc que la densité de l'air soit diminuée au point qu'elle devienne égale à la densité de l'éther, et que l'élasticité de l'air soit augmentée au point qu'elle devienne égale à l'élasticité de l'éther, et nous ne serons plus surpris que la vitesse du son devienne plusieurs mille fois plus grande qu'elle ne l'est effectivement. Car Votre Altesse se souviendra que, selon les premières idées que nous nous sommes formées de l'éther, cette matière doit absolument être incomparablement moins dense ou plus rare que l'air, et en même temps aussi incomparablement plus élastique ; or, de ces deux qualités, l'une et l'autre contribuent également à accélérer la vitesse des ébranlements. Maintenant donc, tant s'en faut que la prodigieuse vitesse de la lumière ait quelque chose de choquant : elle est plutôt parfaitement bien d'accord avec nos principes ; et le parallèle entre la lumière et le son est à cet égard si bien établi, que nous pouvons soutenir hardiment que si l'air devenait si subtil et en même temps aussi élastique que l'éther, la vitesse du son

deviendrait aussi rapide que celle de la lumière. Donc, si l'on demande pourquoi la lumière se meut avec une vitesse si prodigieuse, nous répondrons que la raison est l'extrême subtilité de l'éther, jointe à sa surprenante élasticité; et que, tant que l'éther conserve ce même degré de subtilité et d'élasticité, il est nécessaire que la lumière passe aussi avec le même degré de vitesse. Or, on ne saurait douter que l'éther n'ait par tout l'espace de l'univers la même subtilité et la même élasticité; car si l'éther était plus élastique dans un endroit que dans un autre, il s'y porterait, en se répandant davantage, jusqu'à ce que l'équilibre fût entièrement rétabli. Donc les rayons des étoiles se meuvent aussi vite que ceux du soleil; mais, puisque les étoiles sont beaucoup plus éloignées de nous que le soleil, il leur faut d'autant plus de temps avant que les rayons en viennent jusqu'à nous. Quelque prodigieuse que nous paraisse la distance du soleil, dont les rayons nous parviennent cependant en 8 minutes de temps; celle des étoiles fixes, qui nous est la plus proche, est pourtant plus de 400,000 fois plus éloignée de nous que le soleil. Donc un rayon de lumière qui part de cette étoile emploiera un temps de 400,000 fois 8 minutes avant que de parvenir jusqu'à nous; ce temps fait 53,333 heures, ou 2,222 jours, ou environ 6 ans. Donc, en voyant de nuit une étoile fixe, et même la plus brillante, puisque celle-ci est probablement la plus proche, les rayons qui entrent dans les yeux de Votre Altesse pour y représenter cette étoile, il y a déjà six ans qu'ils sont partis de l'étoile, ayant employé un si long temps pour parvenir jusqu'à nous. Et s'il plaisait à Dieu de créer à présent, à la même distance une nouvelle étoile fixe, nous ne la verrions qu'après six ans passés, puisque ses rayons ne sauraient arriver plus tôt jusqu'à nous. Et si au commencement du monde les étoiles avaient été créées à peu près en même temps qu'Adam, il n'aurait pu les voir qu'au bout de six ans, et même celles qui sont les plus proches, car pour les plus éloignées il lui aurait fallu attendre d'autant plus de temps avant que de les découvrir. Donc, si Dieu avait créé en même temps des étoiles encore mille fois plus éloignées, nous ne les verrions pas encore, quelque brillantes qu'elles pussent être, puisqu'il ne s'est pas encore écoulé 6,000 ans depuis la création. Le premier prédicateur de la cour de Brunswick, M. Jérusalem, a parfaitement employé cette pensée dans un de ses sermons, où se trouve le passage suivant :

« Élevez vos pensées depuis cette terre que vous habitez jusqu'à » tous les corps du monde qui sont au-dessus de vous; parcourez » l'espace qu'il y a depuis les plus éloignés que vos yeux puissent

» découvrir jusqu'à ceux dont la lumière, peut-être, depuis le commencement de leur création jusqu'à présent, n'est pas encore » parvenue jusqu'à nous. L'immensité du royaume de Dieu permet » cette peinture. » (*Du sermon sur le ciel et la béatitude éternelle.*)

Je suis bien sûr que Votre Altesse sera plus édifiée de ce passage que tout l'auditoire de M. Jérusalem, auquel cette sublime pensée aura été inconcevable ; et j'espère que cette réflexion fera naître à Votre Altesse la curiosité d'être instruite sur le reste de ce qui regarde le véritable système de la lumière, d'où découle la théorie des couleurs et de toute la vision.

17 juin 1760.

LETTRE XXI.

Digression sur l'étendue du monde, ensuite sur la nature du soleil et de ses rayons.

Ce que j'ai eu l'honneur de dire à Votre Altesse sur le temps que les rayons des étoiles mettent à parvenir jusqu'à nous est en effet très-propre à nous donner une idée de l'étendue et de la grandeur du monde. La vitesse du son, qui parcourt chaque seconde un espace de 1,000 pieds, nous fournit presque la première mesure, et cette vitesse est environ 200 fois plus rapide que celle d'un homme qui marche assez bien. Or la vitesse des rayons de lumière est encore 900,000 fois plus grande que celle du son, ou bien ses rayons parcourent chaque seconde un chemin de 900 millions de pieds ou de 37,500 milles d'Allemagne ; quelle prodigieuse vitesse ! Cependant celle des étoiles fixes, qui nous est la plus proche, est si éloignée de nous que ses rayons, malgré cette prodigieuse vitesse, emploient six ans avant que d'arriver jusqu'à nous ; et s'il était possible qu'un grand bruit, comme celui d'un coup de canon, excité dans cette étoile pût, être transmis jusqu'à nous, il s'écoulerait un temps de 5,400,000 années avant que nous nous aperçussions de ce son. Cela ne regarde que les étoiles les plus brillantes, qui nous sont probablement les plus proches ; et il est très-vraisemblable que les plus petites étoiles sont encore dix fois et davantage plus éloignées de nous. Il faudra donc bien un siècle entier avant que les rayons de ces étoiles parviennent jusqu'à nous ; quelle prodigieuse distance, qui ne saurait être parcourue que dans un temps de 100 ans par une vitesse qui achève chaque seconde un chemin de 37,500 milles d'Allemagne ! Donc, si à présent une

telle étoile était anéantie ou seulement éclipsée, nous ne laisserions pas de la voir encore pendant 100 ans de suite, puisque les derniers rayons qui en seraient sortis n'arriveraient jusqu'à nous qu'au bout de ce temps. On se forme ordinairement des idées trop petites et trop bornées de ce monde, et ces esprits qui se croient si forts regardent ce monde comme un ouvrage de fort peu d'importance qu'un pur hasard aurait pu produire, et qui mérite à peine leur attention. Or Votre Altesse conviendra que ces mêmes esprits, quelque forts qu'ils se croient, sont des esprits fort bornés; et Votre Altesse sera plutôt vivement pénétrée du plus profond respect envers ce grand souverain, dont la puissance s'étend dans un espace si immense, où tout ce qui s'y trouve est soumis à son pouvoir absolu. Mais quelle doit être notre admiration quand nous considérons que tous ces corps immenses qui se trouvent dans le monde sont arrangés selon la plus grande sagesse, de sorte que plus nous avançons dans la connaissance de ce monde, quoiqu'elle soit toujours infiniment imparfaite, plus nous y découvrons de sujets d'en admirer l'ordre et les perfections! Et à l'égard de tous ces ouvrages, où même notre admiration se perd entièrement, qu'est-ce que c'est que le globe terrestre que nous habitons? un vrai rien, et pourtant nous éprouvons tous les jours les plus éclatantes marques d'une providence toute particulière du grand Maître de l'univers à notre égard. Mais l'éloquence me manque pour représenter ces choses dans toute leur grandeur, et Votre Altesse y suppléera par les réflexions qu'elle voudra bien faire elle-même sur tous ces importants objets. Je retourne à ces grands corps luisants, et en particulier au soleil, qui est la principale source de la lumière et de la chaleur dont nous jouissons ici-bas sur la terre. D'abord on demande en quoi consiste la lumière que le soleil répand continuellement par tout l'univers, sans souffrir jamais la moindre diminution? La réponse ne saurait plus être difficile dans le système de la lumière que je viens d'établir, pendant que le système de l'émanation n'y saurait satisfaire en aucune manière. Tout l'univers étant rempli de cette matière fluide extrêmement subtile et élastique qu'on nomme éther, il faut supposer dans toutes les parties du soleil une agitation continuelle par laquelle chaque particule se trouve dans un ébranlement et mouvement de vibration perpétuel qui, se communiquant à l'éther voisin, excite une agitation semblable, qui est transmise ensuite de plus en plus loin, en tous sens, avec cette rapidité dont je viens de parler si amplement. Donc, pour soutenir le parallèle entre le son et la lumière, le soleil serait semblable à une cloche qui sonnerait sans cesse; il faut donc

que les particules du soleil soient entretenues perpétuellement dans cette agitation qui produit dans l'éther ce que nous nommons rayons de lumière. Or c'est encore une difficulté d'expliquer par quelle force est entretenue cette agitation habituelle dans les particules du soleil, puisque nous savons qu'une chandelle allumée ne brûle pas long-temps, et qu'elle s'éteint bientôt, à moins qu'elle ne soit nourrie par des matières combustibles. Mais on peut remarquer d'abord que le soleil étant une masse plusieurs milliers de fois plus grande que toute la terre, s'il est une fois bien enflammé, la flamme pourrait bien durer pendant plusieurs siècles avant que de souffrir quelque diminution; mais outre cela, le soleil n'est pas dans le cas de nos feux et de nos chandelles, où une bonne partie de leur substance s'en va par la fumée et l'exhalaison, d'où résulte une perte très-réelle; au lieu que dans le soleil, quoique peut-être quelque chose en soit chassé en forme de fumée, cela ne s'en éloigne pas beaucoup et retourne bientôt dans la masse du soleil, de sorte qu'une perte réelle qui causerait une diminution dans la substance du soleil n'y saurait avoir lieu. La seule chose que nous ignorons encore sur cet article est la force qui entretient constamment toutes les particules du soleil dans cette agitation. Or cela n'a rien du tout qui choque le bon sens; et comme nous sommes bien obligés d'avouer notre ignorance à l'égard de plusieurs autres choses qui nous sont beaucoup plus proches que le soleil, nous devons être contents, pourvu que nos idées ne renferment rien de révoltant.

21 juin 1760.

LETTRE XXII.

Éclaircissements ultérieurs sur la nature des corps luisants d'eux-mêmes, et sur la différence entre ces corps et les corps opaques illuminés.

Le soleil étant un corps luisant dont les rayons sont répandus tout autour et en tous sens, Votre Altesse ne sera plus indécise sur la cause de ce merveilleux phénomène, laquelle consiste dans un ébranlement ou vibration dont toutes les particules du soleil sont agitées: le parallèle d'une cloche est fort propre à nous éclaircir sur cet article. Mais il est très-naturel que les vibrations qui causent la lumière soient beaucoup plus vives et plus rapides que celles qui causent le son, puisque l'éther est incomparablement plus subtil que l'air. Comme une agitation faible n'est pas capable d'ébranler l'air pour y produire un son, de même les agitations d'une

cloche et de tous les autres corps qui rendent un son sont trop faibles à l'égard de l'éther pour y produire cet ébranlement qui constitue la lumière. Votre Altesse se souviendra que pour exciter un son sensible il faut qu'il se fasse dans une seconde plus de 30 et moins de 3,000 vibrations, l'air étant trop subtil pour que moins que 30 vibrations y puissent produire un effet sensible; mais, de l'autre côté, il est trop grossier pour recevoir plus de 3,000 vibrations. Un son si haut se perdrait enfin tout à fait. Or il en est de même de l'éther, et 3,000 vibrations rendues dans une seconde sont un objet trop grossier pour l'éther; il faut des vibrations plus fréquentes et plusieurs milliers rendues par seconde avant qu'elles soient capables d'agir sur l'éther et d'y exciter un ébranlement. Une agitation aussi rapide ne saurait avoir lieu que dans les moindres particules des corps qui, par leur petitesse, échappent à nos sens. La lumière du soleil est donc produite par une telle agitation extrêmement vive et rapide qui se trouve dans toutes les moindres particules du soleil, dont chacune doit s'ébranler plusieurs milliers de fois pendant chaque seconde. Une telle agitation est aussi la cause de la lumière des étoiles fixes, et aussi chez nous, sur la terre, de tous les feux, comme des chandelles, des bougies, des flambeaux, etc., qui nous tiennent lieu du soleil pendant la nuit en nous éclairant. En regardant la flamme d'une bougie, Votre Altesse reconnaîtra aisément qu'il y règne dans les plus petites particules une agitation surprenante, et je ne crois pas que mon système trouve de ce côté aucune contradiction; pendant que le système de Newton exige une agitation infiniment prodigieuse, capable de lancer les plus petites particules avec une vitesse qui parcourt 37,500 milles d'Allemagne dans une seconde. Voilà donc l'explication de la nature des corps lumineux ou plutôt luisant par eux-mêmes, car il y a des corps lumineux qui ne sont pas luisants d'eux-mêmes, comme la lune et les planètes, qui sont des corps semblables à notre terre. En effet, nous ne voyons la lune que quand et en tant qu'elle est éclairée ou *enluminée* par le soleil; et c'est aussi le cas de tous les corps terrestres, si l'on excepte les feux et les flammes, qui luisent par eux-mêmes. Mais pour les autres corps, qu'on nomme *corps opaques*, ils ne nous deviennent visibles qu'autant qu'ils sont éclairés par quelque autre lumière. Pendant une nuit fort obscure ou dans une chambre tellement fermée partout qu'il n'y saurait entrer aucune lumière, on a beau fixer les yeux vers les objets qui se trouvent dans ces ténèbres, on n'y verra rien; mais qu'on y apporte une bougie allumée, on verra d'abord non-seulement la bougie, mais aussi les autres corps qui

étaient invisibles auparavant. Voilà donc une différence très-essentielle entre les corps luisants et les autres corps, qu'on nomme *opaques* (j'avais bien ci-dessus employé ce même nom d'*opaque* pour désigner les corps qui ne sont pas transparents, mais la chose revient à peu près au même; et il faut s'accommoder à l'usage de parler, quoiqu'il y ait quelque différence). Les corps luisants nous sont visibles par leur propre lumière, et n'ont pas besoin d'une lumière étrangère pour être vus; on les voit également étant transportés dans les plus épaisses ténèbres. Or les corps que je nomme ici *opaques* ne nous sont visibles que moyennant une lumière qui leur est étrangère : nous n'en voyons rien, tant qu'ils sont placés dans les ténèbres; mais aussitôt qu'ils sont exposés à un corps luisant, dont les rayons puissent les frapper, nous les voyons; et ils disparaissent, dès qu'on ôte cette lumière étrangère. Il n'est pas même besoin que les rayons d'un corps luisant les frappent immédiatement; un autre corps opaque, lorsqu'il est bien éclairé, produit à peu près le même effet, mais d'une manière plus faible. La lune nous en fournit un bel exemple. Nous savons que la lune est un corps opaque; mais lorsqu'elle est éclairée du soleil et que nous la voyons de nuit, elle éclaire faiblement tous les corps opaques sur la terre et nous rend visibles ceux qui, sans la lune, nous seraient invisibles. Quand je me trouve de jour dans ma chambre exposée vers le nord, où les rayons du soleil ne peuvent pas entrer, il y fait pourtant clair et j'y puis distinguer toutes les choses; quelle serait donc la cause de cette clarté, sinon que premièrement le ciel tout entier est éclairé du soleil, ce que nous nommons le *bleu du ciel*, ensuite les murailles vis-à-vis de ma chambre? et les autres objets sont aussi éclairés ou immédiatement par le soleil ou médiatement par d'autres corps opaques éclairés; et la lumière de tous ces corps opaques, mais éclairés en tant qu'elle entre dans ma chambre, la rend claire, et cela d'autant plus que les fenêtres sont hautes, larges et bien arrangées; les vitres des fenêtres n'y nuisent presque point, puisque le verre, comme j'ai déjà remarqué, est un corps transparent qui accorde à la lumière un libre passage. Quand je ferme bien les volets de mes fenêtres, de sorte que la lumière de dehors ne saurait plus entrer dans ma chambre, j'y suis dans les ténèbres; et, à moins que je ne fasse apporter une chandelle, je n'y vois rien. Voilà donc en même temps une différence bien essentielle entre les corps luisants et les corps opaques, et aussi une ressemblance bien remarquable, qui est que les corps opaques étant éclairés éclairent aussi les autres corps opaques et produisent à cet égard à peu près le même effet

que les corps luisant par eux-mêmes. L'explication de ce phénomène a bien tourmenté tous les philosophes jusqu'ici ; mais je me flatte de la présenter à Votre Altesse d'une manière claire et satisfaisante.

24 juin 1760.

LETTRE XXIII.

Sur la manière dont les corps opaques nous deviennent visibles ; et explication du sentiment de Newton, qui en met la cause dans la réflexion des rayons.

Avant que d'entreprendre l'explication du phénomène par lequel les corps opaques nous deviennent visibles lorsqu'ils sont éclairés, il faut remarquer, en général, que nous ne voyons rien que moyennant les rayons qui entrent dans nos yeux. Quand nous voyons un objet quelconque, il y a des rayons qui viennent de chaque point de cet objet, et qui, entrant dans l'œil, y peignent pour ainsi dire une image de ce même objet. Ceci n'est pas une simple conjecture ; on le peut prouver par l'expérience même. On prend un œil de bœuf ou de quelque autre bête nouvellement tuée, et, après avoir découvert le fond, on y voit dépeints tous les objets qui se trouvent devant l'œil. Ainsi toutes les fois que nous voyons un objet, il y en a une image peinte sur le fond des yeux, et cette image est l'ouvrage des rayons qui proviennent de l'objet et qui entrent dans les yeux. J'aurai l'honneur de présenter à Votre Altesse, dans la suite, une explication plus détaillée de la vision et de la manière dont les images des objets sont formées sur le fond de l'œil ; à présent cette remarque générale me suffit. Donc, puisque nous ne voyons les corps opaques que lorsqu'ils sont éclairés, il y a des rayons qui proviennent de tous les points de ces corps ; mais ces rayons ne subsistent que tant que les corps sont éclairés ; dès qu'ils se trouvent dans les ténèbres, ces rayons s'évanouissent : d'où l'on voit que ces rayons ne sont pas propres aux corps opaques, mais que leur origine doit être cherchée dans l'illumination. Et c'est à présent la grande question, comment la seule illumination est capable de produire des rayons sur les corps opaques ou de les mettre à peu près dans le même état où se trouvent les corps luisants qui, par une agitation dans leurs moindres particules, produisent des rayons ? Le grand Newton, de même que les autres philosophes qui ont examiné cette matière, en mettent la cause dans la réflexion ; il est donc de la dernière impor-

tance que Votre Altesse se forme une juste idée de ce qu'on nomme *réflexion*. Or, d'abord, lorsqu'un corps choque contre un autre et qu'il en est repoussé, cela se nomme *réflexion*, dont on peut voir tous les cas dans un billard. Lorsqu'on joue la bille contre le rebord ou la bande du billard, elle en rejaillit ou bien elle en est réfléchie, et ce changement est nommé *réflexion*. Il est bon de distinguer ici deux cas. Supposons que AB (*fig.* 7) soit la bande du billard, le premier cas est : lorsqu'on joue la bille D perpendiculairement contre la bande, suivant la direction DC, de sorte que cette ligne DC soit perpendiculaire à la bande AB, et partant les angles ensuite ACD et BCD droits; dans ce cas, la bille sera repoussée ou réfléchie sur la même ligne DC. L'autre cas est lorsque la bille est jouée obliquement vers la bande, comme si l'on poussait la bille E selon la ligne EC, qui fasse avec la bande AC un angle aigu ACE, qu'on nomme l'*angle d'incidence;* alors la bille sera repoussée par la bande selon la ligne CF, en sorte que cette ligne fasse de l'autre côté avec la bande BC un angle BCF, précisément égal à l'angle d'incidence ACE. On nomme cet angle BCF, sous lequel la bille est réfléchie, l'*angle de réflexion;* et on tire de là cette règle générale, que dans toutes les réflexions l'angle d'incidence est toujours égal à l'angle de réflexion. Cette loi s'observe toujours lorsqu'un corps, dans son mouvement, rencontre des obstacles, et un boulet de canon tiré contre une muraille assez forte qu'il ne saurait percer en est réfléchi conformément à cette règle : que l'angle de réflexion est toujours égal à l'angle d'incidence. Cette règle s'étend de même aux sons qui sont souvent réfléchis de certains corps, et Votre Altesse n'ignorera pas qu'une telle réflexion des sons est nommée *écho*. Aussi n'y a-t-il point de doute qu'une telle réflexion n'ait souvent lieu dans les rayons de lumière. Les objets que nous voyons dans les miroirs nous sont représentés par la réflexion des rayons, et, toutes les fois qu'une surface est bien polie, elle réfléchit les rayons de lumière qui y tombent. Il est donc très-certain qu'il y a une infinité de cas où les rayons qui tombent sur de certains corps en sont réfléchis; et de là les philosophes ont pris occasion de soutenir que nous voyons les corps opaques par des rayons réfléchis. Je vois à présent les maisons vis-à-vis mes fenêtres qui sont éclairées par le soleil : donc, selon le sentiment de ces philosophes, les rayons du soleil qui tombent sur la surface de ces maisons en sont réfléchis; ils entrent dans ma chambre et me rendent ces maisons visibles. C'est de la même manière, sui-

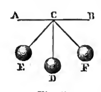


Fig. 7.

vant ces philosophes, que nous voyons la lune et les planètes, qui sont sans contredit des corps opaques. Les rayons du soleil qui tombent sur ces corps et qui en éclairent la partie qui lui est exposée en sont réfléchis et parviennent de là jusqu'à nous, tout comme si ces corps étaient luisants d'eux-mêmes. Donc, suivant ce sentiment, nous ne voyons la lune et les planètes que moyennant les rayons du soleil qui en sont réfléchis, et Votre Altesse aura déjà bien souvent entendu dire que la lumière de la lune est une réflexion de la lumière du soleil. De la même manière, dit-on, les corps opaques éclairés du soleil, quand ils jettent leurs rayons réfléchis sur d'autres corps opaques, en sont de nouveau réfléchis; et ceux-ci, en tombant encore sur d'autres, y souffrent une troisième réflexion, et ainsi de suite. Mais, quelque probable que puisse paraître ce sentiment au premier coup d'œil; dès qu'on l'examine de plus près, il renferme tant d'absurdités qu'il est absolument insoutenable : comme j'aurai l'honneur de le prouver invinciblement à Votre Altesse, afin de lui présenter ensuite la véritable explication de ce phénomène.

28 juin 1760.

LETTRE XXIV.

Examen et réfutation de ce sentiment.

Je dis donc que lorsque nous voyons un corps opaque éclairé par le soleil, que c'est un sentiment absolument insoutenable de dire que les rayons en soient réfléchis, et que ce soit par ces rayons que nous voyons le corps. L'exemple d'un miroir, qui réfléchit sans contredit les rayons, et dont on se sert pour prouver ce sentiment, prouve plutôt le contraire. Le miroir réfléchit sans doute les rayons qui y tombent; mais lorsque ces rayons réfléchis entrent dans nos yeux, qu'est-ce qu'ils représentent? Votre Altesse m'avouera d'abord que ce n'est pas le miroir d'où ces rayons nous sont renvoyés qu'ils nous représentent; ils nous représentent les objets d'où ils sont partis originairement, et la réflexion ne fait autre chose sinon que nous voyons ces objets dans un autre lieu. Aussi ne voyons-nous pas ces objets dans la surface du miroir, mais plutôt au dedans; et on peut bien dire que le miroir même nous demeure invisible. Mais en regardant un corps opaque éclairé par le soleil, nous n'y voyons pas le soleil; nous voyons effectivement la surface du même corps avec toutes les variations qui s'y trouvent ; d'où l'on

doit reconnaître une différence très-essentielle entre les rayons qui sont réfléchis d'un miroir et ceux par lesquels nous voyons les corps opaques. Mais il y a encore une autre différence aussi palpable dans le miroir; car en changeant les objets devant le miroir, seulement leur place ou notre propre situation, l'apparition changera toujours, et les rayons réfléchis du miroir représenteront dans nos yeux continuellement d'autres images qui répondent à la nature et à la position des objets et au lieu où nous sommes postés; et, comme je l'ai déjà remarqué, ces rayons réfléchis ne nous présentent jamais le miroir même. Or, soit qu'un corps soit éclairé par le soleil ou d'autres corps luisants ou opaques déjà éclairés, de quelque manière aussi que ce corps change de place ou que nous en changions nous-mêmes par rapport à ce corps, l'apparition en est toujours la même; nous voyons toujours le même objet, et nous n'y remarquons aucun changement qui se rapporterait aux diverses circonstances susdites : ce qui me fournit une nouvelle preuve que nous ne voyons point les corps opaques par des rayons réfléchis de leur surface. Je prévois ici une objection tirée du cou des pigeons et de certaines espèces d'étoffes, qui nous offrent des spectacles différents selon que notre point de vue change; mais cela n'affaiblit en aucune manière ma conclusion à l'égard des corps opaques ordinaires qui ne sont pas assujettis à un tel changement. Car cette objection ne prouve autre chose sinon que ces objets singuliers sont doués de certaines qualités, comme par exemple que leurs moindres particules sont bien polies, et qu'il arrive une véritable réflexion, outre la manière ordinaire et commune dont tous les corps nous sont visibles. Or on comprend aisément qu'une telle réflexion doit être bien distinguée de la manière dont les corps opaques ordinaires sont éclairés. Enfin, les rayons réfléchis d'un miroir nous représentent aussi toujours les couleurs des corps d'où ils proviennent originairement, le miroir où se fait la réflexion n'y change rien. Or un corps opaque illuminé par quelque autre corps, de quelque manière qu'il soit éclairé, nous présente toujours les mêmes couleurs; et on peut dire que chaque corps a sa propre couleur. Cette circonstance renverse absolument le sentiment de tous ceux qui prétendent que nous voyons les corps opaques par le moyen des rayons qui sont réfléchis de leur surface. En joignant ensemble toutes les raisons que je viens d'expliquer à Votre Altesse, elle ne balancera pas de prononcer que ce sentiment ne saurait être soutenu en aucune façon dans la philosophie, ou plutôt dans la physique. Cependant je ne saurais me flatter que les philosophes trop attachés à leurs

sentiments une fois reçus se rendent à ces raisons; mais les physiciens, qui sont plus étroitement liés avec les mathématiciens, font moins de difficulté de changer de sentiment sur des raisons aussi fortes. Votre Altesse se rappellera encore ici ce que Cicéron a dit sur ce sujet, que rien ne saurait être imaginé de si absurde qui ne soit soutenu par quelque philosophe. En effet, quelque étrange que puisse paraître à Votre Altesse le commun sentiment que je viens de réfuter, il a été soutenu et défendu jusqu'ici avec beaucoup de chaleur. On ne saurait dire que les inconvénients et les contradictions que je viens de mettre sous les yeux de Votre Altesse fussent inconnus aux partisans de ce sentiment. Le grand Newton en a lui-même bien senti la force; mais, comme il s'est arrêté à la plus étrange idée sur la propagation des rayons, il ne faut pas être surpris qu'il ait pu digérer ces grandes incongruités; et, en général, la grandeur de l'esprit ne garantit jamais d'absurdité des sentiments qu'on a une fois embrassés. Mais si ce sentiment, que les corps opaques sont vus par des rayons réfléchis, est faux, disent ses partisans, quelle est donc la véritable explication? Il leur semble même qu'il est impossible d'imaginer une autre explication de ce phénomène, et d'ailleurs il est trop difficile et trop humiliant pour un philosophe d'avouer son ignorance sur quelque article que ce soit. Il vaut toujours mieux soutenir les plus grandes absurdités, surtout quand on possède le secret de les envelopper dans des termes obscurs que personne ne peut comprendre; car alors le vulgaire relève d'autant plus les savants, en s'imaginant que ces obscurités leur sont fort lumineuses. Du moins il est toujours fort suspect, lorsque les savants se vantent de connaissances si sublimes qu'ils ne sauraient rendre intelligibles. J'espère expliquer le phénomène en question, de façon que Votre Altesse n'y trouvera rien qui soit difficile à comprendre.

1er juillet 1760.

LETTRE XXV.

Autre explication de la manière dont les corps éclairés nous sont visibles.

Tous les phénomènes sur les corps opaques que j'ai développés dans ma précédente lettre prouvent invinciblement que, lorsque nous voyons un corps opaque éclairé, ce n'est pas par des rayons réfléchis de sa surface que nous le voyons, mais que les moindres particules dans sa surface se trouvent actuellement dans une agi-

tation semblable à celle dont les moindres particules des corps luisants sont ébranlées : avec cette différence cependant que l'agitation dans les corps opaques n'est pas, à beaucoup près, si forte que dans les corps luisants d'eux-mêmes ; attendu qu'un corps opaque, quelque éclairé qu'il soit, ne fait jamais dans l'œil une impression si vive que les corps luisants. Puisque nous voyons les corps opaques mêmes, et point du tout les images des corps luisants qui les éclairent, comme il devrait arriver si nous les voyions réfléchis de leur surface, il faut que les rayons par lesquels nous les voyons leur soient propres et leur appartiennent aussi étroitement que les rayons des corps luisants leur appartiennent. Donc, tant qu'un corps opaque est éclairé, les moindres particules dans sa surface se trouvent dans une agitation propre à produire dans l'éther un mouvement de vibration tel qu'il faut pour former des rayons et pour peindre dans nos yeux l'image de leur original. Pour cet effet, il faut que de chaque point de la surface il soit répandu des rayons en tout sens ; ce que l'expérience confirme aussi évidemment, puisque, de quelque côté que nous regardions un corps opaque, nous le voyons également dans tous ces points : d'où il s'ensuit que chaque point envoie des rayons en tout sens. Cette circonstance distingue ces rayons essentiellement des rayons réfléchis, dont la direction est toujours déterminée par celle des rayons incidents : de sorte que si les rayons incidents viennent d'une seule région, comme du soleil, les rayons réfléchis ne suivraient qu'une seule direction. Nous reconnaissons donc que, dès qu'un corps opaque est éclairé, toutes les moindres particules qui se trouvent dans sa surface en sont mises dans une certaine agitation, par laquelle sont produits des rayons, comme j'ai fait voir que cela arrive dans les corps luisant par eux-mêmes. Cette agitation est aussi d'autant plus forte que la lumière qui éclaire est efficace ; ainsi, le même corps étant exposé au soleil est beaucoup plus vivement agité que s'il est simplement éclairé dans une chambre par le clair du jour, ou de nuit par une bougie, ou seulement par le clair de la lune. Dans le premier cas, son image est beaucoup plus vivement peinte sur le fond de l'œil que dans les autres, et surtout dans le clair de la lune, dont l'illumination suffit à peine à distingner ou à lire une écriture fort grosse ; et lorsqu'on transporte le corps opaque dans une chambre obscure ou dans les ténèbres, on n'en voit plus rien ; ce qui est une marque certaine que l'agitation dans ses parties a tout à fait cesssé et qu'elles se trouvent en repos. Voilà donc en quoi consiste la nature des corps opaques : c'est que leurs particules d'elles-mêmes sont en repos,

ou du moins destituées d'une telle agitation qu'il faut pour produire de la lumière ou des rayons : mais ces mêmes particules ont une telle disposition que, lorsqu'elles sont éclairées ou que des rayons de lumière y tombent, elles en sont d'abord mises dans un certain ébranlement ou mouvement de vibration propre à produire des rayons; et plus la lumière qui éclaire ces corps est vive, plus aussi l'agitation sera forte. Donc, tant qu'un corps opaque est éclairé, il se trouve dans le même état que les corps luisants, ses moindres particules étant agitées d'une manière semblable et capable d'exciter des rayons dans l'éther. Mais il y a cette différence que dans les corps luisants cette agitation subsiste d'elle-même ou est entretenue par une force intrinsèque; au lieu que dans les corps opaques cette agitation est accessoire, n'étant produite que par la lumière qui les éclaire, et qu'elle est entretenue par une force étrangère qui ne réside pas dans le corps même, mais dans l'illumination. Cette explication satisfait à tous les phénomènes et n'est assujettie à aucun inconvénient semblable à ceux qui nous ont fait abandonner l'autre explication, fondée sur la réflexion. Quiconque voudra bien peser toutes ces circonstances n'en disconviendra point. Mais il reste encore une très-grande difficulté : il s'agit d'expliquer comment la simple illumination dont un corps opaque est éclairé est capable de mettre les moindres particules de ce corps dans une agitation qui produise des rayons, et comment cette agitation demeure à peu près toujours semblable à elle-même, quelque différence qui se trouve dans l'illumination. J'avoue que, si l'on ne pouvait répondre à cette question, ce serait un grand défaut dans ma théorie, quoiqu'elle n'en fût point renversée; car il n'y a là rien de révoltant. La seule chose que j'ignorerais, savoir, comment l'illumination produit une agitation dans les moindres particules des corps opaques, ne marquerait qu'une imperfection dans ma théorie; et à moins qu'on ne puisse démontrer l'impossibilité absolue que l'illumination produise un tel effet, mon sentiment pourra toujours subsister. Mais je suppléerai aussi à ce défaut, et je ferai voir à Votre Altesse, très-clairement, comment l'illumination agite les moindres particules des corps.

5 juillet 1760.

LETTRE XXVI.

Continuation de cette explication.

Je me suis engagé à faire comprendre à Votre Altesse comment l'illumination d'un corps opaque doit produire dans ses moindres particules une agitation propre à exciter des rayons de lumière qui nous rendent visible ce même corps opaque. Le parallèle entre le son et la lumière, qui ne diffèrent que du plus au moins, la lumière étant la même chose à l'égard de l'éther que le son à l'égard de l'air; ce parallèle, dis-je, me mettra en état de m'acquitter de mon engagement. Les corps luisants doivent être comparés à des instruments de musique mis en action ou qui sonnent actuellement. Il est ici indifférent si c'est par une force intrinsèque qu'ils sonnent ou qu'ils soient touchés par des forces étrangères; il suffit à mon dessein qu'ils sonnent et fassent du bruit. Or les corps opaques, en tant qu'ils ne sont pas éclairés, doivent être comparés à des instruments de musique hors d'action, ou bien à des cordes tendues en repos qui ne rendent aucun son. Maintenant, notre question, étant transportée de la lumière au son, se réduit à celle-ci : Si une corde tendue en repos, lorsqu'elle se trouve dans le bruit des instruments de musique, en reçoit quelque agitation et commence à sonner sans qu'elle soit touchée actuellement? Or, l'expérience nous apprend que cela arrive en effet. Si Votre Altesse veut bien prendre la peine de considérer une corde tendue pendant un concert, ou seulement pendant un bruit de toutes sortes d'instruments de musique, elle remarquera que cette corde commencera à trembler sans qu'on y ait touché, et qu'elle donnera le même son que si elle avait été touchée. Cette expérience réussit encore mieux si les instruments rendent le même son de la corde. Que Votre Altesse considère attentivement les cordes d'un clavecin où l'on ne joue pas pendant qu'un violon joue le son *a*, par exemple, bien fort, et Votre Altesse remarquera que sur le clavecin la corde de ce même son commencera à trembler assez sensiblement, même à sonner, sans qu'elle ait été touchée; quelques autres cordes aussi seront pareillement agitées, comme celles qui tiennent au son, qu'on joue une octave ou une quinte, et souvent aussi une tierce, pourvu que l'instrument soit parfaitement accordé. Ce phénomène est très-bien connu des musiciens, et M. Rameau, ce grand compositeur en France, y établit ses principes de l'harmonie. Il

prétend que les octaves, quintes et tierces doivent être connues pour des consonnances par cette seule raison, puisqu'une corde est agitée par le seul son d'une autre corde qui est ou le même que celui que la première corde rendrait, ou qui y tient l'intervalle d'une octave, ou d'une quinte, ou d'une tierce. Mais il faut convenir que les principes de l'harmonie sont si bien établis par la simplicité des rapports que les sons tiennent entre eux qu'ils n'ont pas besoin d'un nouveau soutien. Le phénomène dont je parle est plutôt une conséquence fort naturelle des principes de l'harmonie. Pour rendre cela plus sensible, considérons deux cordes accordées à rendre le même son; en frappant l'une, l'autre commencera d'elle-même à trembler et à sonner. La raison en est aussi assez claire : car de la même manière qu'une corde en tremblant communique à l'air un mouvement semblable de vibration, ainsi l'air réciproquement, étant agité d'un tel mouvement de vibration, est capable de faire trembler la corde, pourvu que par sa tension elle soit susceptible d'un semblable mouvement. L'air, étant agité d'un mouvement de vibration, frappe à chaque coup tant soit peu la corde; et la réitération de plusieurs coups par chaque vibration imprime bientôt à la corde un mouvement sensible, puisque les vibrations auxquelles elle est disposée par sa tension conviennent avec celles qui se trouvent dans l'air. Si le nombre des vibrations dans l'air est la moitié ou le tiers, ou tel que le rapport soit assez simple, alors la corde ne reçoit pas à chaque vibration une nouvelle impulsion, comme dans le cas précédent, mais pourtant à la seconde, ou troisième, ou quatrième, etc.; ce qui continuera à augmenter son tremblement, mais non pas si fort que dans le premier cas. Mais si le son dans l'air ne tient aucun rapport simple à celui qui convient à la corde, l'agitation de l'air ne produit aucun effet sur la corde; car, puisque les vibrations de la corde, s'il y en avait, ne se rencontrent pas avec celle de l'air, les impulsions suivantes de l'air détruisent, pour la plupart, l'effet que les premières peuvent avoir produit; ce que l'expérience confirme aussi admirablement bien. Donc, pour qu'une corde soit ébranlée par le seul bruit d'un son, l'effet sera plus sensible quand le son dans l'air est précisément le même que celui de la corde. D'autres sons qui ont avec celui de la corde une consonnance produiront bien un semblable effet, mais moins sensible, et les dissonances n'en produisent aucun. Cette circonstance a lieu non-seulement dans les cordes, mais aussi dans tous les autres corps sonores. Une cloche sonnera par le seul bruit d'une autre cloche qui y tient une belle harmonie, c'est-à-dire ou le même son, ou l'octave, ou la quinte, ou la tierce.

L'histoire nous fournit aussi un bel exemple dans les verres à boire. Il y avait un homme qui cassait les verres par son cri. Quand on lui présentait un verre, il examinait d'abord le son de ce verre en y frappant; ensuite il criait sur le même ton sur le verre, et le verre commençait à s'ébranler; alors il augmentait sa voix de toutes ses forces, toujours sur le même ton, et l'ébranlement du verre devenait enfin si fort que le verre se brisait en petits morceaux. Il est donc très-certain et confirmé par l'expérience qu'une corde et tout autre corps sonore sont mis en agitation par le seul bruit d'un son consonnant : ainsi donc le même phénomène doit avoir lieu dans les corps opaques qui pourront être mis en agitation par la seule illumination; ce qui était la question que je m'étais proposé de résoudre. L'ordinaire prochain, j'en ferai l'explication plus détaillée.

8 juillet 1760.

LETTRE XXVII.

Fin de cette explication, et sur la clarté et la couleur des corps opaques éclairés.

Après ce que je viens d'exposer, Votre Altesse ne sera plus surprise qu'un corps puisse recevoir par la seule illumination une agitation dans ses moindres particules semblable à celle dont les particules des corps luisants sont agités, et qui les rend propres à produire des rayons qui les rendent visibles; et ainsi ce grand obstacle, qui paraissait s'opposer à mon explication de la visibilité des corps opaques, est heureusement levé, pendant que l'autre explication, fondée sur la réflexion des rayons, rencontre d'autant plus de difficultés qu'on en veut faire l'application aux phénomènes connus. C'est donc une vérité bien constatée que, de tous les corps que nous voyons, les moindres particules dans leur surface se trouvent dans une certaine agitation ou un mouvement de vibration semblable à celui d'une corde pincée, mais incomparablement plus vif et plus rapide, soit que cette agitation soit l'effet d'une force intrinsèque, comme dans les corps luisants d'eux-mêmes; soit qu'elle soit produite par des rayons de lumière qui tombent sur les corps, c'est-à-dire par l'illumination, comme il arrive dans les corps opaques. Il est donc faux que la lune, étant un corps opaque, réfléchisse les rayons du soleil, et que ce soit par cette lumière réfléchie que nous la voyons, comme on le croit en général : mais les rayons du

soleil qui tombent sur la surface de la lune excitent ses particules à un ébranlement semblable : d'où résultent les rayons de la lune, qui, entrant dans nos yeux, y peignent son image; et c'est le cas des planètes et de tous les corps opaques. Cette agitation des moindres particules des corps opaques lorsqu'ils sont éclairés ne dure pas plus long-temps que l'illumination qui en est la cause; et aussitôt qu'un corps opaque n'est plus éclairé, nous ne le voyons plus. Mais ne pourrait-il pas arriver qu'une telle agitation imprimée une fois aux moindres particules d'un corps opaque se conservât encore pendant quelque temps, comme nous voyons qu'une corde, une fois pincée, continue souvent à trembler pendant long-temps? Je ne saurais nier que ce cas ne fût possible, et je crois même qu'il existe actuellement dans ces matières que notre M. Margraff a présentées à Votre Altesse, lesquelles étant une fois éclairées, quand on les transporte dans une chambre obscure, y conservent encore quelque temps leur lumière. Cependant c'est un cas très-extraordinaire, et dans tous les autres corps l'ébranlement des moindres particules s'évanouit avec l'illumination qui l'a causé. Mais cette explication, qui jusqu'ici se soutient parfaitement bien, me conduit à des recherches encore plus importantes. D'abord, il n'y a point de doute que parmi les moindres particules des corps opaques il ne se trouve une différence infinie selon la variété des corps mêmes : il y en aura qui seront plus susceptibles d'un mouvement de vibration, et il y en aura qui le seront moins, et même qui n'en sauraient recevoir aucun. Cette différence ne se rencontre que trop évidemment dans les corps. Un corps dont les particules reçoivent facilement l'impression des rayons qui y tombent, nous paraît brillant; un autre, au contraire, où les rayons ne causent presque aucune agitation, nous doit paraître obscur et ténébreux. Parmi plusieurs corps également éclairés, Votre Altesse remarquera toujours une grande différence, quelques-uns étant plus clairs et plus brillants que les autres. Mais il doit y avoir encore une autre différence bien remarquable parmi les moindres particules des corps opaques à l'égard du nombre des vibrations que chacune, étant agitée, rendra dans un certain temps. J'ai déjà remarqué que ce nombre doit toujours être fort grand, et que la subtilité de l'éther en demande plusieurs milliers dans une seconde. Mais il peut y avoir une différence infinie, si quelques particules emploient, par exemple, 10,000 vibrations dans une seconde, et que d'autres en emploient 11,000, 12,000, 13,000, etc., selon la petitesse, la tension et l'élasticité de chacune; de même qu'il arrive dans les cordes de musique, où le nombre de vibrations rendues dans une seconde peut varier à l'in-

fini, et c'est de là que j'ai déduit la différence des sons graves et aigus, ou bien des sons bas et hauts. Comme cette différence est essentielle dans les sons, et que l'ouïe en est affectée d'une manière si particulière que c'est sur cette différence qu'est fondée toute l'harmonie de la musique, on ne saurait douter qu'une semblable différence dans la fréquence des vibrations des rayons de lumière ne produise un effet tout particulier et une différence très-essentielle dans la vision. Si une particule, par exemple, fait 10,000 vibrations dans une seconde et produit des rayons de la même espèce, les rayons qui entrent dans l'œil y frapperont le fond, ou les nerfs qui s'y trouvent, 10,000 fois dans une seconde; et cet effet, ainsi que la sensation, doivent être tout à fait différents de ceux que produirait une autre particule qui ferait plus ou moins de vibrations dans une seconde. Il y aura dans la vision une différence semblable à celle que sent l'ouïe en écoutant des sons graves ou aigus. Votre Altesse sera bien curieuse d'apprendre à quoi se réduit cette différence dans la vision, et si nous distinguons en effet les objets dont les particules sont mises en mouvement de vibration plus ou moins dans une seconde. Là-dessus, j'ai l'honneur de dire à Votre Altesse que c'est la diversité des couleurs qui est causée par cette différence; de sorte que, par rapport à la vue, les couleurs sont la même chose que les différents sons hauts ou bas par rapport à l'ouïe. Voilà donc une grande question dont la résolution s'est offerte d'elle-même, sans que nous l'ayons cherchée. C'est la question sur la nature des couleurs qui a tourmenté de tout temps les philosophes. Quelques-uns ont dit que c'est une certaine modification de la lumière qui nous est absolument inconnue. Descartes prétend que toutes les couleurs ne sont qu'un certain mélange de la lumière et de l'ombre; et Newton en cherche la raison dans les rayons du soleil, qui, selon lui, sont des émanations réelles, et il croit que leur matière pourrait être plus ou moins subtile; d'où il établit des rayons de toutes couleurs, rouges, jaunes, verts, bleus et violets. Mais, ce système tombant de lui-même, tout ce qu'on a dit jusqu'ici sur les couleurs revient à ceci, que nous n'en savons rien du tout. Or, à présent Votre Altesse comprend très-clairement que la nature de chaque couleur consiste dans un certain nombre de vibrations dont les particules, qui nous présentent cette couleur, sont agitées dans un certain temps.

12 juillet 1760.

LETTRE XXVIII.

Sur la nature des couleurs en particulier.

L'ignorance de la véritable nature des couleurs a entretenu de tout temps de grandes disputes parmi les philosophes; chacun s'est efforcé de briller par quelque sentiment particulier sur ce sujet. Le sentiment que les couleurs résident dans les corps mêmes leur parut trop commun et peu digne d'un philosophe, qui doit toujours s'élever au-dessus du vulgaire. Puisque le paysan s'imagine que tel corps est rouge, l'autre bleu et un autre vert, le philosophe ne saurait mieux se distinguer qu'en soutenant le contraire : il dit donc que les couleurs n'ont rien de réel, qu'il n'y a rien dans les corps qui s'y rapporte. Les newtoniens mettent les couleurs uniquement dans les rayons, qu'ils distinguent, selon les couleurs, en rouges, jaunes, verts, bleus et violets; et ils disent qu'un corps nous paraît de telle ou telle couleur lorsqu'il réfléchit des rayons de cette espèce. D'autres, auxquels ce sentiment paraît trop grossier, prétendent que les couleurs n'existent que dans le sentiment : c'est le meilleur moyen pour couvrir son ignorance, sans lequel le peuple pourrait croire que le savant ne connaîtrait pas mieux la nature des couleurs que lui. Mais à présent, à entendre parler les savants, on s'imagine qu'ils possèdent les plus profonds mystères, quoiqu'ils n'en sachent pas plus que le paysan, et peut-être encore moins. Votre Altesse reconnaîtra aisément que ces apparentes subtilités ne sont que des chicanes. Chaque couleur simple (pour la distinguer des couleurs composées) est attachée à un certain nombre de vibrations qui s'achèvent dans un certain temps : de sorte qu'un tel nombre de vibrations rendues dans une seconde détermine la couleur rouge; un autre, la couleur jaune; un autre, la verte; un autre, la bleue; et un autre la violette, qui sont les couleurs simples, comme l'arc-en-ciel nous les représente. Donc, si les particules de la surface de quelques corps sont tellement disposées qu'étant agitées elles rendent dans une seconde autant de vibrations que, par exemple, la couleur rouge exige; je nomme ce corps *rouge*, tout comme les paysans, et je ne vois aucune raison de m'écarter de la manière reçue de parler. Ensuite, les rayons qui renferment aussi autant de vibrations dans une seconde pourront être nommés *rouges* avec autant de droit; et enfin, quand les nerfs du fond de l'œil sont affectés par ces mêmes rayons, et qu'ils

en sont frappés autant de fois dans une seconde, ils excitent la sensation de la couleur rouge. Ici tout est clair, et je ne vois aucune nécessité d'introduire des phrases obscures et mystérieuses qui au fond n'aboutissent à rien. Le parallèle entre le son et la lumière est si parfait, qu'il se soutient même dans les moindres circonstances. Quand j'alléguai le phénomène d'une corde tendue, qui peut être agitée par le seul bruit de quelques sons, Votre Altesse se souviendra que le même son que la corde rendrait étant touchée est le plus efficace à ébranler cette corde, et que d'autres sons n'y produisent d'effet qu'autant qu'ils font avec la corde une belle consonnance. Il en est exactement de même de la lumière et des couleurs, puisque les différentes couleurs répondent aux différents sons de la musique. Pour faire voir ce bel et merveilleux phénomène, qui confirme le plus fortement mon système, on prépare une chambre obscure; on y fait un petit trou dans un volet, devant lequel on place à quelque distance un corps d'une certaine couleur, comme, par exemple, un morceau de drap rouge, en sorte que, lorsqu'il est bien éclairé, ses rayons entrent par le trou dans la chambre obscure. Ce seront donc des rayons rouges qui entrent dans la chambre, l'entrée de toute autre lumière étant défendue. Maintenant, lorsqu'on tient dans la chambre, vis-à-vis du trou, un morceau de drap de la même couleur, on le verra parfaitement bien éclairé, et sa couleur rouge paraîtra fort brillante; mais si on tient à la même place un morceau de drap vert, il demeurera obscur, et on ne verra presque rien de sa couleur. Or, si l'on met hors de la chambre, devant le trou, un morceau de drap aussi vert et bien éclairé, le morceau vert dans la chambre en sera parfaitement bien éclairé, et sa couleur verte paraîtra fort vive. Il en est de même de toutes les autres couleurs; et je crois qu'on ne saurait prétendre une preuve plus éclatante de mon système. De là nous apprenons donc que, pour éclairer un corps d'une certaine couleur, il faut que les rayons qui y tombent pour l'éclairer aient la même couleur, les rayons d'un autre corps n'étant pas capables d'agiter les particules de ce corps. Cela se prouve aussi par une expérience fort connue. Lorsqu'on allume de l'esprit-de-vin dans une chambre, Votre Altesse sait que la flamme de l'esprit-de-vin est bleue, et ainsi elle ne produit que des rayons bleus; dans cette chambre donc, toutes les personnes qui s'y trouvent paraissent fort pâles, et leurs visages comme des mourants, quelque fardés ou teints de rouge qu'ils puissent être. La raison en est évidente, car les rayons bleus ne sont pas capables d'exciter ou d'ébranler la couleur rouge dans le visage, ce n'est qu'une cou-

leur bleuâtre et fort faible qu'on y voit; mais si quelqu'un a un habit bleu, cet habit paraîtra à son tour tout à fait brillant. Or, les rayons du soleil, ceux d'une bougie ou d'une chandelle ordinaire, éclairent tous les corps à peu près également; d'où l'on conclut que les rayons du soleil renferment toutes les couleurs à la fois, quoique son teint paraisse jaunâtre. Et en effet, lorsqu'on laisse entrer dans une chambre obscure des rayons de toutes couleurs simples, des rouges, jaunes verts, bleus et violets, en égale quantité à peu près, et qu'on les rassemble, ils présentent une couleur blanchâtre. On fait aussi la même expérience avec plusieurs poudres des couleurs mentionnées, et, en les mêlant bien ensemble, il en résulte une couleur blanchâtre. On tire de là cette conclusion, que la couleur blanche n'est rien moins qu'une couleur simple, mais qu'elle est plutôt un mélange de toutes les couleurs simples : aussi voyons-nous que le blanc est également propre à recevoir toutes les couleurs. Pour le noir, il n'est pas proprement une couleur : lorsque les particules d'un corps sont si lourdes qu'elles ne sauraient recevoir aucun mouvement de vibration, ce corps est noir; ou bien un corps qui ne produit pas de rayons est noir. Ainsi, le défaut des rayons produit cette couleur; et plus il se trouve sur la surface de quelque corps de telles particules qui ne sont susceptibles d'aucun mouvement de vibration, plus il paraît obscur et noirâtre [1].

15 juillet 1760.

LETTRE XXIX.

Sur la transparence des corps relative aux passages des rayons.

J'ai déjà remarqué qu'il y a certains corps qui transmettent les rayons de lumière, qu'on nomme *transparents*, *pellucides* et *diaphanes*, comme le verre, l'eau, et surtout l'air. C'est cependant l'éther qui est le milieu le plus naturel dans lequel se forment les rayons de lumière; et les autres matières transparentes n'ont cette qualité qu'à cause de l'éther qu'elles contiennent, et avec lequel elles sont tellement entremêlées que les agitations qui y sont excitées par la lumière se peuvent communiquer plus loin sans être arrêtées. Mais cette transmission ne se fait jamais si librement que dans l'éther pur, et il s'en perd toujours quelque chose; et cela d'autant plus que le corps transparent est plus épais. L'épaisseur peut même devenir si grande que toute la lumière s'y perd, et

1. Voyez les Lettres I, II, III et IV de la troisième partie.

alors le corps n'est plus transparent. Ainsi, quoique le verre soit un corps transparent, un grand morceau de verre de quelques pieds de grosseur n'est plus transparent, et l'on ne saurait rien voir à travers. De même, quelque pure que soit l'eau d'une rivière dans l'endroit où elle est très-profonde, on ne saurait voir le fond, qu'on voit cependant très-bien où l'eau n'est pas profonde. Ainsi la transparence n'est qu'une propriété des corps relative à leur épaisseur; et quand on attribue cette propriété au verre, à l'eau, etc., il faut toujours l'entendre avec cette restriction, lorsque l'épaisseur de ces corps n'est pas trop grande; et pour chaque espèce il y a une certaine mesure d'épaisseur, laquelle étant passée, le corps n'est plus transparent. Au contraire, il n'y a point de corps opaque, qu'on oppose au transparent, qui ne devienne enfin transparent lorsqu'on le réduit à une lame extrêmement mince. Ainsi, quoique l'or ne soit pas transparent, les feuilles d'or sont pourtant transparentes; et en regardant les plus petites particules de tous les corps par un microscope, on les trouve transparentes. On pourrait donc dire que tous les corps sont transparents lorsqu'on les fait minces; et aussi qu'aucun corps n'est transparent lorsqu'il est trop épais. Or, selon la manière de parler, on nomme *corps transparents* ceux qui conservent cette qualité jusqu'à un certain degré d'épaisseur, quoiqu'ils la perdent lorsqu'ils sont plus épais. Mais pour ce qui regarde l'éther, il est, en vertu de sa nature, absolument et parfaitement transparent, et son étendue ne diminue rien du tout dans sa transparence. La prodigieuse distance des étoiles fixes (que Votre Altesse daigne se la rappeler) n'empêche point que leurs rayons ne soient transmis jusqu'à nous; mais si notre air, quoiqu'il paraisse parfaitement transparent, s'étendait jusqu'à la lune, il perdrait toute sa transparence, et aucun rayon du soleil et des autres corps célestes ne saurait plus pénétrer jusqu'à nous : nous nous trouverions dans le cas des ténèbres égyptiennes. La raison en est assez évidente; et nous remarquons la même chose dans le son, dont la ressemblance à la lumière se confirme à tous égards. L'air est le milieu naturel au travers duquel le son est transmis; mais les agitations excitées dans l'air sont capables d'ébranler aussi les particules de tous les corps; et celles-ci, en mettant en mouvement les intérieures, transmettent enfin les agitations à travers tous les corps, à moins qu'ils ne soient trop épais. Ainsi il y a des corps qui, par rapport au son, sont la même chose que les corps transparents par rapport à la lumière; et enfin tous les corps ont cette propriété par rapport au son, pourvu qu'ils ne soient pas trop épais. En effet, Votre Altesse, étant dans sa chambre,

entend presque tout ce qui se passe dans l'antichambre, quoique les portes soient bien fermées : c'est que l'agitation de l'air dans l'antichambre se communique aux murailles, par lesquelles l'agitation pénètre dans la chambre même, mais pourtant avec quelque perte. Si l'on ôtait les murailles, Votre Altesse entendrait sans doute plus distinctement. Or, plus les murailles sont épaisses, plus aussi le son perd de sa force en les traversant; et les murailles pourraient être si épaisses qu'on n'entendrait plus rien de tout ce qui se passerait dehors, à moins que cela ne fût un bruit terrible, comme le coup d'un canon. Cela me mène à une nouvelle remarque que des sons très-forts peuvent bien passer par des murailles qui sont impénétrables à des sons plus faibles; et par conséquent, pour juger si une muraille est capable de transmettre les sons, il ne suffit pas d'avoir égard à l'épaisseur de la muraille, il faut aussi tenir compte de la force du son. Si le son est très-faible, une muraille fort mince serait capable de l'arrêter, quoiqu'elle pût transmettre un son plus fort. Il en est de même des corps transparents, qui peuvent accorder le passage à une lumière très-forte, pendant qu'on ne voit pas au travers d'eux des objets peu brillants. Quand on noircit un verre avec de la fumée, on ne voit plus à travers des objets peu brillants; mais en regardant le soleil par un tel verre, on le voit fort distinctement. C'est le moyen dont les astronomes se servent pour observer le soleil, qui sans cela éblouirait les yeux. Et quand on se trouve dans une chambre obscure où il y a un trou dans le volet vers le soleil, on a beau couvrir de la main ce trou, la lumière du soleil passera au travers de la main. Cependant on voit que la lumière du soleil perd beaucoup de son éclat en passant par un tel corps, qui, par rapport à d'autres objets, n'est pas même transparent. Mais une lumière très-forte peut perdre beaucoup de son éclat avant qu'elle soit entièrement éteinte, pendant qu'une lumière plus faible se perd bientôt. Ainsi un morceau de verre fort épais sera bientôt non transparent à l'égard des objets peu brillants, mais on verra pourtant le soleil à travers. Ces remarques sur les corps transparents me conduisent à la théorie de la réfraction, dont Votre Altesse aura déjà entendu parler bien souvent, et que je tâcherai de mettre en tout son jour dans la suite.

18 juillet 1760.

LETTRE XXX.

Sur le passage des rayons de lumière par les milieux transparents, et sur leur réfraction.

Tant que la lumière avance par le même milieu, soit que ce soit l'éther, ou l'air, ou quelque autre corps transparent, la propagation se fait selon des lignes droites qu'on nomme *rayons*, puisqu'ils partent du point luisant en tout sens, de même que les rayons d'un cercle ou d'un globe partent du centre. Dans le système de l'émanation, les particules lancées du corps luisant se meuvent en des lignes droites; et il en est de même dans le véritable système, que j'ai eu l'honneur de proposer à Votre Altesse, où les agitations se communiquent selon des lignes droites, de la même manière que le son d'une cloche est transmis jusqu'à nous par une ligne droite, par laquelle nous jugeons aussi de quelle contrée le son vient: donc, dans l'un et l'autre système, les rayons nous sont représentés par des lignes droites, tant qu'ils passent par le même milieu transparent; mais ils peuvent souffrir quelque inflexion quand ils passent d'un milieu transparent dans un autre, et cette inflexion est ce qu'on nomme la *réfraction des rayons de lumière*, dont la connaissance est de la dernière importance dans une infinité de phénomènes. Je vais donc expliquer à Votre Altesse les lois conformément auxquelles la réfraction se fait.

D'abord c'est une loi constante que, lorsqu'un rayon comme EC (*fig.* 8) tombe perpendiculairement sur la surface AB d'un autre milieu, il continue sa route suivant la même ligne droite prolongée comme CF. Il ne souffrira pour lors aucune inflexion ou réfraction. Ainsi, si EC est un rayon du soleil qui tombe perpendiculairement sur la surface AB de l'eau ou du verre, il y entrera selon la même direction, et continuera sa route selon la ligne CF, aussi perpendiculaire à la surface AB, de sorte que EF soit une même ligne droite. Or, c'est le seul cas où il n'y a point de réfraction; mais toutes les fois que le rayon ne tombe pas perpendiculairement sur la surface d'un autre corps transparent, il n'y continue pas sa route suivant la même ligne droite; il s'en écartera plus ou moins, et il souffrira une réfraction.

Fig. 8.

Soit PC (*fig.* 9) un rayon qui tombe obliquement sur la surface AB d'un autre milieu transparent : en entrant dans ce milieu, il ne continuera pas sa route suivant la ligne droite CQ, qui est la continuation de la ligne droite PC ; mais il s'en écartera ou selon la ligne droite CR ou selon CS. Il souffrira donc en C une inflexion qu'on nomme *réfraction*. Or cette réfraction dépend en partie de la diversité des deux milieux, et en partie de l'obliquité sous laquelle le rayon PC entre. Pour expliquer les lois de cette inflexion, il faut connaître quelques termes dont les auteurs se servent. 1° La surface AB, qui distingue les deux milieux, celui d'où le rayon vient et celui où il entre, est nommée la *surface réfringente;* 2° le rayon PC, qui y tombe, est nommé le *rayon incident;* et 3° le rayon CR ou CS, qui tient dans l'autre milieu une route différente de CQ, est nommé le *rayon rompu.* De plus, ayant tiré sur la surface AB la ligne perpendiculaire ECF : on nomme 4° *angle d'incidence*, l'angle PCE que fait le rayon incident PC avec la ligne perpendiculaire EC; et 5° l'*angle de réfraction* est l'angle RCF ou SCF que fait le rayon rompu CR ou CS avec la perpendiculaire CF. Donc, à cause de la réfraction, l'angle de réfraction n'est pas égal à l'angle d'incidence PCE : car, prolongeant la ligne PC en Q, les angles PCE et FCQ sont opposés par la pointe, et, partant, égaux entre eux, comme Votre Altesse s'en souviendra encore parfaitement bien. C'est donc l'angle QCF qui est égal à l'angle d'incidence PCE, et, partant, l'angle de réfraction RCF ou SCF est ou plus petit ou plus grand. Il y a donc deux cas qui peuvent avoir lieu : l'un où, le rayon rompu étant CR, l'angle de réfraction RCF est plus petit que l'angle d'incidence PCE; et l'autre où, le rayon rompu étant CS, l'angle de réfraction SCF est plus grand que l'angle d'incidence PCE. Dans le premier cas, on dit que le rayon CR s'approche de la perpendiculaire CF; et, dans l'autre, que le rayon rompu CS s'écarte ou s'éloigne de la perpendiculaire. Il faut donc voir lorsque l'un ou l'autre cas a lieu : cela dépend de la diversité des deux milieux, selon que l'un ou l'autre est plus dense ou plus rare, ou bien selon que les rayons passent plus ou moins difficilement au travers de chacun d'eux. Pour cet effet, il faut remarquer que l'éther est le milieu le plus rare par lequel les rayons passent sans aucune difficulté. Ensuite les autres milieux transparents les plus communs tiennent cet ordre : l'air, l'eau et le verre; en sorte que le verre est un milieu plus dense que l'eau, l'eau plus dense que l'air, et l'air plus dense que l'éther.

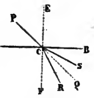


Fig. 9.

Cela posé, on n'a qu'à observer ces deux règles générales : 1° lorsque les rayons passent d'un milieu moins dense dans un autre plus dense, le rayon rompu s'approche plus de la perpendiculaire ; c'est le cas où, le rayon incident étant PC, le rayon rompu est CR : 2° lorsque les rayons passent d'un milieu plus dense dans un autre moins dense, le rayon rompu s'éloigne de la perpendiculaire ; c'est le cas où, le rayon incident étant PC, le rayon rompu est CS. Or cette inflexion est d'autant plus grande que les deux milieux sont différents par rapport à leur densité. Ainsi les rayons, en passant de l'air dans le verre, souffrent une plus grande réfraction que lorsqu'ils passent de l'air dans l'eau ; cependant, dans l'un et l'autre cas, les rayons rompus s'approchent de la perpendiculaire. Pareillement, les rayons passant du verre en l'air souffrent une plus grande réfraction que lorsqu'ils passent de l'eau dans l'air ; mais dans ces cas le rayon rompu s'écarte de la perpendiculaire. Enfin, il faut aussi remarquer que la différence entre l'angle d'incidence et l'angle de réfraction est d'autant plus grande que l'angle d'incidence est grand ; ou bien, plus le rayon incident s'écarte de la perpendiculaire, plus l'inflexion du rayon ou la réfraction sera grande. Il y règne un certain rapport qu'on détermine par la géométrie. Mais il n'est pas besoin d'entrer dans un tel détail. Ce que je viens de dire suffit pour l'intelligence de ce que j'aurai l'honneur de proposer à Votre Altesse.

22 juillet 1760.

LETTRE XXXI.

Sur la réfraction des rayons de diverses couleurs.

Votre Altesse vient de voir que lorsqu'un rayon de lumière passe obliquement d'un milieu transparent dans un autre, il souffre une inflexion qu'on nomme *réfraction*, et que la réfraction dépend tant de l'obliquité d'incidence que de la diversité des milieux, comme j'ai eu l'honneur de l'expliquer assez amplement. Mais à présent je dois faire remarquer à Votre Altesse que la diversité des couleurs cause aussi une petite variété dans la réfraction, ce qui provient sans doute de ce que les rayons des diverses couleurs renferment des nombres différents de vibrations rendues en même temps, et qu'ils diffèrent entre eux de la même manière que les sons plus ou moins hauts. Ainsi on observe que les rayons rouges souffrent la moindre inflexion ou réfraction ; après eux suivent, dans l'ordre, les rayons oranges, les jaunes, les verts, les bleus et

les violets : de sorte que les rayons violets souffrent la plus grande réfraction, bien entendu lorsque l'obliquité d'incidence est la même et les milieux les mêmes. De là on dit que les rayons des diverses couleurs sont assujettis à une diverse réfrangibilité, que les rouges sont les moins réfrangibles, et les violets le plus.

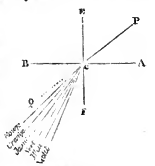


Fig. 10.

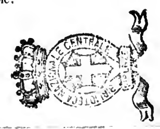
Donc, si PC (*fig.* 10) est un rayon qui passe, par exemple, de l'air dans le verre, l'angle d'incidence étant PCE, le rayon rompu s'approchera de la perpendiculaire CF; et si le rayon était rouge, le rompu serait *C-rouge* : s'il était orange, le rompu serait *C-orange;* et ainsi des autres, comme on voit dans la figure. Tous ces rayons s'écartent de la ligne CQ, qui est la continuation de PC vers la perpendiculaire CF; mais le rayon rouge s'écarte le moins de CQ, ou souffre la moindre inflexion, et le violet s'écarte le plus de CQ, et souffre la plus grande inflexion. Or, si PC est un rayon du soleil, il produit à la fois tous les rayons colorés indiqués dans la figure; et si l'on y tient un papier blanc, on y voit en effet toutes ces couleurs : d'où l'on dit que chaque rayon du soleil renferme à la fois toutes les couleurs simples. La même chose arrive si PC est un rayon blanc ou qu'il vienne d'un corps blanc. On en voit naître par la réfraction toutes les couleurs; d'où l'on conclut que la couleur blanche est un mélange de toutes les couleurs simples, comme j'ai déjà eu l'honneur de le dire à Votre Altesse. En effet, on n'a qu'à réunir tous ces rayons colorés dans un seul point, et on verra renaître la couleur blanche. C'est de là que nous apprenons quelles sont les couleurs véritablement simples ; la réfraction nous les découvre incontestablement. Selon l'ordre de la réfraction, ce sont 1° la couleur rouge, 2° l'orange, 3° la jaune, 4° la verte, 5° la bleue, 6° la violette. Mais il ne faut pas penser qu'il n'y en ait que six; car, puisque la nature de chacune consiste dans un certain nombre qui exprime le nombre des vibrations rendues dans un certain temps, il est clair que les nombres moyens donnent également des couleurs simples. Mais il nous manque des noms propres pour marquer ces couleurs : ainsi, entre le jaune et le vert, on voit effectivement des couleurs moyennes, mais que nous ne saurions nommer à part. C'est sur ce même principe que sont fondées les couleurs que nous voyons dans l'arc-en-ciel. La raison en est que les rayons du soleil, en passant par des gouttes d'eau

qui tombent dans l'air, y sont réfléchis et réfractés, et la réfraction les décompose dans les couleurs simples. Votre Altesse aura sans doute déjà remarqué que ces couleurs se suivent dans le même ordre dans l'arc-en-ciel : le rouge, l'orange, le jaune, le vert, le bleu et le violet; mais nous y découvrons aussi toutes les couleurs intermédiaires, comme des nuances d'une couleur à l'autre, et, si nous avions plus de noms pour distinguer ces degrés, nous pourrions nommer plus de couleurs diverses d'une extrémité à l'autre. Peut-être une autre nation plus riche en mots y compte actuellement plus de couleurs diverses que nous; peut-être aussi qu'une autre nation en compte moins, si par exemple elle n'avait point de terme pour exprimer l'orange. Quelques-uns y ajoutent même le pourpre, qu'on découvre actuellement à l'extrémité du rouge, et que d'autres comprennent sous le même nom de rouge.

C.	D.	E.	F.	G.	A.	B.
pourpre.	rouge.	orange.	jaune.	vert.	bleu.	violet.

On peut comparer ces couleurs avec les sons d'une octave, comme je viens de le représenter ici, puisque les couleurs, aussi bien que les sons, se peuvent exprimer en nombres. Il semble même que, haussant davantage le violet, on revient à un nouveau pourpre, tout comme en montant dans les sons on parvient au delà de B au son c, qui est une octave au-dessus de C. Et comme dans la musique on donne à ce ton le même nom à cause de leur ressemblance, il en est de même dans les couleurs, qui, après avoir monté par l'intervalle d'une octave, recouvrent les mêmes noms; ou bien deux couleurs, comme deux tons, dont le nombre de vibrations de l'une est précisément le double de l'autre, passent pour la même couleur et ont le même nom. C'est sur ce principe que le père Castel, en France, a voulu imaginer une espèce de musique de couleurs. Il a fait un clavecin dont chaque touche étant touchée représente un morceau teint d'une certaine couleur; et il prétend que ce clavecin, étant bien joué, pourrait représenter un spectacle très-agréable aux yeux. Il le nomme *clavecin oculaire*, et Votre Altesse en aura déjà quelquefois entendu parler. Pour moi, je pense que c'est plutôt la peinture qui est, par rapport aux yeux, la même chose que la musique aux oreilles, et je doute fort qu'une représentation de plusieurs morceaux de draps teints de diverses couleurs puisse être fort agréable.

27 juillet 1760.



LETTRE XXXII.

Sur le bleu du ciel.

Votre Altesse vient de voir que la cause de la visibilité de tous les objets est un mouvement de vibration extrêmement rapide dont les moindres particules sont agitées dans leurs surfaces, et que la fréquence de ces vibrations en détermine la couleur. Il en est de même, soit que ces moindres particules soient agitées par une force intrinsèque, comme il arrive dans les corps luisants; ou qu'elles reçoivent leur agitation d'une illumination, ou d'autres rayons dont elles sont éclairées, comme il arrive dans les corps opaques. Or, la fréquence ou la rapidité des vibrations dépend de la grosseur de ces particules et de leur ressort, de même que la rapidité des vibrations d'une corde dépend de sa grosseur et de sa tension ; et ainsi, tant que les particules d'un corps conservent le même ressort, elles représenteront la même couleur, comme les feuilles d'une plante qui conservent une couleur tant qu'elles sont fraîches; mais dès qu'elles commencent à se sécher, le changement du ressort, qui en est la cause, produit aussi une couleur différente. Or, sur cet article, j'ai déjà eu l'honneur d'entretenir Votre Altesse; maintenant je vais lui expliquer ce phénomène universel : Pourquoi le ciel, de jour, nous paraît bleu. En considérant ce phénomène grossièrement, il nous semble qu'il se trouve là haut une prodigieuse voûte teinte de la couleur bleue, comme les peintres représentent le ciel sur un plafond. Je n'aurai pas besoin de désabuser Votre Altesse sur ce préjugé; un peu de réflexion nous suffit pour nous faire comprendre que le ciel n'est pas une voûte bleue, à laquelle soient fichées les étoiles comme des clous luisants. Votre Altesse est plutôt convaincue que les étoiles sont des corps immenses qui se trouvent à des distances très-éloignées de nous, et qui se meuvent librement dans un espace presque vide, ou qui n'est rempli que de cette matière subtile qu'on nomme l'éther. Or je ferai voir à Votre Altesse que la cause de ce bleu du ciel doit être cherchée dans notre atmosphère, en tant qu'elle n'est pas parfaitement transparente. S'il était possible de s'élever toujours plus haut au-dessus de la surface de la terre, d'abord l'air deviendrait de plus en plus rare, ensuite il ne serait plus propre à entretenir notre respiration, et enfin il se perdrait tout à fait, et alors on se trouverait dans l'éther pur. Aussi, en montant sur de hautes montagnes, le mercure, dans le baro-

mètre, descend de plus en plus, l'atmosphère devenant plus légère ; et alors on remarque aussi que cette couleur brillante bleue du ciel devient de plus en plus faible : et si l'on pouvait monter jusque dans l'éther pur, la couleur bleue s'évanouirait tout à fait; en regardant en haut, on n'y verrait rien du tout, et le ciel paraîtrait noir, comme pendant la nuit. Car tout nous paraît noir où aucun rayon de lumière ne parvient jusqu'à nous. On a donc bien raison de demander pourquoi le ciel nous paraît bleu. D'abord il faut convenir que, si l'air était un milieu parfaitement transparent comme l'éther, ce phénomène ne pourrait avoir lieu. Alors nous ne recevrions d'en haut d'autres rayons que ceux des étoiles; mais la clarté du jour est si grande, que la petite lumière des étoiles nous devient insensible. De même, Votre Altesse ne verrait pas la flamme d'une bougie pendant le jour, lorsqu'elle est assez éloignée; pendant que la même flamme nous paraît de nuit fort brillante, et cela encore à des distances beaucoup plus grandes. De là il est clair qu'il faut chercher la cause du bleu du ciel dans le défaut de la transparence de l'air. L'air est chargé de quantité de petites particules qui ne sont pas tout à fait transparentes, mais qui, étant éclairées par les rayons du soleil, en reçoivent un mouvement de vibration qui produit de nouveaux rayons propres à ces particules ; ou bien ces particules sont opaques, et, étant éclairées, nous deviennent visibles elles-mêmes. Or, la couleur de ces particules est bleue ; voilà donc l'explication de ce phénomène : c'est que l'air contient quantité de petites particules bleues; ou bien on peut dire que les moindres particules sont bleuâtres, mais d'un bleu extrêmement délié, qui ne devient sensible que dans une énorme masse d'air. Ainsi, dans une chambre, nous n'y apercevons rien de ce bleu; mais quand tous les rayons bleuâtres de toute l'atmosphère pénètrent à la fois dans nos yeux, quelque déliée que soit la couleur de chacun, tous ensemble peuvent produire une couleur très-foncée. Cela se confirme par un autre phénomène qui ne sera pas inconnu à Votre Altesse. En regardant une forêt de près, elle paraît bien verte; mais quand on s'en éloigne, elle paraitra de plus en plus bleuâtre. Les forêts des montagnes du Harz, qu'on voit à Magdebourg, paraissent assez bleues, quoiqu'en les regardant de Halberstadt elles soient vertes; la grande étendue de l'air entre Magdebourg et ces montagnes en est la raison. Quelque déliées ou rares que soient les particules bleuâtres de l'air, il y en a une très-grande quantité dans cet intervalle dont les rayons entrent conjointement dans les yeux, et qui y représentent par conséquent une couleur bleue assez foncée. Nous remarquons un semblable phénomène dans

un brouillard où l'air est chargé de quantité de particules opaques qui sont blanchâtres. En ne regardant qu'à une petite distance, à peine s'aperçoit-on du brouillard; mais lorsque la distance est grande, la couleur blanchâtre devient très-sensible, et même au point qu'on ne voit plus rien à travers. L'eau de la mer, lorsqu'elle est assez profonde, paraît verte; mais quand on en remplit un verre, elle est assez claire. La raison est visiblement la même : cette eau est chargée de quantités de particules verdâtres dont une petite quantité ne produit aucun effet sensible; mais dans une grande étendue, comme si l'on regarde dans la profondeur, tant de rayons verdâtres joints ensemble produisent une couleur foncée.

27 juillet 1760.

LETTRE XXXIII.

Sur l'affaiblissement des rayons qui partent d'un point lumineux éloigné, et sur l'angle visuel.

Tant que les rayons causés par la rapide vibration des moindres particules d'un corps se meuvent dans le même milieu transparent, ils conservent la même direction, ou bien ils se répandent en tout sens selon des lignes droites. On se représente ces rayons comme les rayons d'un cercle, ou plutôt d'une sphère, qui partant d'un centre s'étendent vers la circonférence; et c'est à cause de cette ressemblance qu'on se sert du même nom de rayon, quoiqu'à proprement parler la lumière ne consiste pas en des lignes, mais en des vibrations très-rapides, qui se continuent selon des lignes droites : et par cette raison on peut envisager la lumière comme des lignes droites sortant du point lumineux en tout sens.

Soit C un point lumineux (*fig.* 11) qui répand sa lumière en tout sens. Que Votre Altesse se représente maintenant deux sphères décrites autour du centre C, et la lumière qui se répand par la surface de la petite sphère *abcd* sera aussi répandue par la surface de la grande sphère ABDE. Il faut donc que la lumière sur la grande sphère ABDE soit plus déliée et plus faible que sur la petite *abcd;* d'où l'on comprend que l'effet de la lumière doit être d'autant plus petit qu'on est plus éloigné du point lumineux. Si nous supposons que le rayon de la grande sphère est le double de celui de la petite, la surface de la grande sphère sera deux fois deux ou

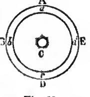


Fig. 11.

quatre fois plus grande. Donc, puisque c'est la même quantité de lumière qui est répandue par la surface de la grande sphère et par celle de la petite, il s'ensuit que la lumière, à une distance double, est 4 fois plus faible; à une distance triple, 9 fois; à une distance quadruple, 16 fois, et ainsi de suite : or 9 est 3 fois 3, et 16 est 4 fois 4; donc, à une distance 10 fois plus grande, la lumière est 10 fois 10, c'est-à-dire 100 fois plus faible. Si nous appliquons cela à la lumière du soleil, nous apprenons que, si la terre était deux fois plus éloignée du soleil qu'elle n'est actuellement, la lumière ou la clarté du soleil deviendrait quatre fois plus faible; et si le soleil était 100 fois plus éloigné de nous, sa clarté serait 100 fois 100, c'est-à-dire 10,000 fois plus petite. Donc, si nous supposons qu'une étoile fixe soit aussi grande et aussi luisante que le soleil, mais qu'elle soit 400,000 fois plus éloignée de nous que le soleil, sa lumière sera 400,000 fois 400,000, ou bien 160,000,000,000 de fois plus faible que celle du soleil : d'où l'on voit que la lumière d'une seule étoile fixe n'est rien par rapport à la lumière du soleil; et c'est là raison pourquoi nous ne voyons point les étoiles pendant le jour, une petite lumière s'évanouissant toujours auprès d'une autre incomparablement plus brillante. Il en est de même des chandelles et de tous les corps lumineux, qui nous fournissent d'autant moins de clarté qu'ils sont plus éloignés de nous; et Votre Altesse aura déjà remarqué que, quelque forte que soit une lumière, si l'on s'en éloigne beaucoup, sa clarté n'est plus suffisante pour lire dans un livre. Or il est encore une autre circonstance étroitement liée avec celle que je viens de rapporter, qui est que le même objet nous paraît plus petit quand il est plus éloigné de nous. Un géant, à une grande distance, ne paraît pas plus grand qu'un nain de près. Pour en mieux juger, on a égard à des angles.

Ainsi, supposons (*fig.* 12) que AB soit un objet, par exemple un homme, et qu'un œil le regarde du point C. On tire de ce point des lignes droites AC et BC, qui représentent les rayons extrêmes qui parviennent de l'objet dans l'œil; et l'on nomme l'angle formé en C, l'angle visuel de l'objet vu en C. Si l'on regardait le même objet plus près en D, l'angle visuel D serait sans doute plus grand : d'où l'on voit que plus le même objet est éloigné, plus son angle visuel est petit; et plus il nous approche, et plus l'angle visuel devient grand. Les astronomes mesurent très-soigneusement les angles visuels sous lesquels nous voyons les corps célestes, et ils trouvent que l'angle visuel du soleil surpasse tant soit peu la moitié d'un degré. Si le

Fig. 12.

soleil était deux fois plus éloigné de nous, son angle visuel se réduirait à la moitié; d'où il ne serait pas surprenant qu'il nous fournît quatre fois moins de clarté. Et si le soleil était 400,000 fois plus éloigné de nous, son angle visuel deviendrait autant de fois plus petit, et partant il ne paraîtrait pas plus grand qu'une étoile. Il faut donc bien distinguer la grandeur vue d'un objet, de sa véritable grandeur : la grandeur vue ou apparente est toujours un angle plus ou moins grand, selon qu'il est plus ou moins proche de nous. Ainsi la grandeur du soleil, apparente ou vue, est un angle d'environ un demi degré, pendant que sa véritable grandeur surpasse plusieurs fois la terre tout entière; car, le soleil étant un globe, on estime son diamètre de 172,000 milles d'Allemagne, pendant que le diamètre de la terre n'est que 1720 milles.

29 juillet 1760.

LETTRE XXXIV.

Sur ce que le jugement supplée à la vision.

Ce que j'ai eu l'honneur de proposer à Votre Altesse sur le phénomène de la vision appartient à une science qu'on appelle *optique*, laquelle est une des parties des mathématiques, et tient aussi un rang fort considérable dans la physique. Outre les couleurs, dont j'ai tâché d'expliquer la nature, on y traite la doctrine de l'angle visuel; et Votre Altesse aura déjà remarqué que le même objet peut être vu, tantôt sous un grand angle visuel, tantôt sous un petit, selon qu'il est proche ou éloigné de nous. Je remarque de plus qu'un petit objet peut être vu sous le même angle qu'un grand objet, lorsque celui-là est fort proche et celui-ci fort éloigné. On peut tenir une assiette de sorte qu'elle nous couvre le soleil tout entier, vu qu'une assiette d'un demi-pied, à une distance de 54 pieds, nous couvre exactement le soleil, et est vue sous le même angle visuel que le soleil; or, quelle prodigieuse différence entre la grandeur d'une assiette et celle du soleil ! La pleine lune nous paraît à peu près sous le même angle visuel que le soleil, et par conséquent à peu près aussi grande, quoique le soleil soit beaucoup plus grand que la lune; mais il faut considérer que le soleil est aussi presque 400 fois plus éloigné de nous que la lune.

L'angle visuel est un article d'autant plus important dans l'optique, que les images dont les objets se peignent sur le fond de

l'œil en dépendent. Plus l'angle visuel est grand ou petit, plus aussi l'image peinte au fond de l'œil est grande ou petite. Or, nous ne voyons les objets hors de nous qu'autant que leurs images sont peintes sur le fond de l'œil; conséquemment ces images constituent l'objet immédiat de la vision ou de la sensation. Donc, une image représentée sur le fond de l'œil ne nous donne à connaître que trois choses. Premièrement, la figure et les couleurs de l'image nous portent à juger qu'il y a hors de nous un objet semblable, d'une telle figure et de telle couleur; en second lieu, la grandeur de l'image nous fait connaître l'angle visuel sous lequel l'objet nous paraît; et troisièmement, le lieu de l'image sur le fond de l'œil nous fait sentir en quelle direction l'objet se trouve hors de nous, si c'est à gauche ou à droite, en haut ou en bas; ou bien nous en connaissons la direction d'où les rayons viennent dans nos yeux. C'est dans ces trois choses que toute la vision est contenue, et nous ne sentons que : 1° la figure avec les couleurs; 2° l'angle visuel ou la grandeur apparente, et 3° la direction ou le lieu vers lequel nous jugeons que l'objet existe. Or, la vision ne nous découvre rien ni sur la véritable grandeur des objets, ni sur leurs distances. Quoiqu'on s'imagine souvent qu'on voit la grandeur et la distance de quelque objet, ce n'est pas un acte de la vision, mais plutôt un acte du jugement; et les autres sens, et une longue expérience, nous mettent en état de juger à quelle distance un objet se trouve éloigné de nous. Or, cette faculté ne s'étend qu'aux objets qui nous sont assez proches. Dès qu'ils sont fort éloignés, notre jugement n'a plus lieu; et si nous voulons hasarder un jugement, nous nous trompons pour l'ordinaire très-grossièrement. Ainsi, personne ne peut dire qu'il vole la grandeur ou la distance de la lune; et quand le peuple s'imagine que la lune est égale à un fromage de Suisse, ce n'est pas la vision qui en est la cause, mais un jugement fort trompeur, et, par une semblable erreur, il juge la distance de la lune peut-être moindre que celle d'ici à Charlottenbourg. De là, il est certain que les yeux, ou la seule vision, ne décident rien sur la distance et la grandeur des objets. On allègue là-dessus un exemple très-remarquable d'un homme né aveugle [1], auquel on a procuré la vue par une opération lorsqu'il était dans un âge déjà avancé. Cet homme fut d'abord tout à fait ébloui; il ne distingua rien sur la grandeur et la distance des objets, tous lui parurent si proches qu'il les voulait toucher; il lui fallut bien du temps et un long exercice avant qu'il parvînt au véritable usage de la vue; il lui fallut un long apprentissage, et le même que nous faisons pendant la plus tendre enfance, et dont nous ne nous sou-

1. L'aveugle de Cheselden.

venons plus. Par un tel exercice nous avons appris que le même objet nous paraît distinct et plus clair lorsqu'il nous est plus proche; et de là nous jugeons réciproquement qu'un objet, lorsqu'il nous paraît fort clair et fort distinct, nous est proche. Or, lorsqu'il nous paraît obscur et peu distinct, nous le jugeons éloigné. C'est de quoi les peintres savent fort bien profiter en représentant sur les tableaux fort clairement et distinctement les choses que nous devons juger proches, et obscurément les choses que nous devons juger éloignées, quoique les unes et les autres se trouvent à une égale distance de nous. Aussi réussissent-ils parfaitement bien, et nous jugerions presque que, des choses que nous voyons sur un beau tableau, quelques-unes sont beaucoup plus éloignées que d'autres. Cette illusion ne pourrait avoir lieu si la vision même nous découvrait la véritable distance et la grandeur des objets.

1er août 1760.

LETTRE XXXV.

Explication de quelques phénomènes relatifs à l'optique.

Votre Altesse vient de voir que la vue seule ne nous découvre rien sur la véritable grandeur des objets, ni sur leur distance; et que tout ce que nous nous imaginons voir, tant de la grandeur que de la distance de quelque objet, est l'effet de notre jugement, et non du sens de la vision. Il faut bien distinguer ce que les sens nous représentent de ce que nous y ajoutons par notre jugement; en quoi nous nous trompons très-souvent. Plusieurs philosophes qui ont harangué contre la justesse de nos sens et en ont voulu prouver l'incertitude de toutes nos connaissances (laquelle secte est nommée le *scepticisme* ou le *pyrrhonisme*), confondent les propres représentations de nos sens avec notre jugement. Ils disent : Nous ne voyons pas le soleil plus grand qu'un bassin, quoiqu'il soit infiniment plus grand; donc le sens de la vue nous trompe, donc tous les sens nous trompent; au moins ne saurait-on s'y fier : donc toutes les connaissances que nous acquérons par le moyen des sens sont incertaines et probablement fausses; donc nous ne savons rien de certain. Voilà le raisonnement de ces grands philosophes sceptiques qui se vantent tant de leur esprit, quoique rien ne soit plus aisé que de dire que tout est incertain, et que le plus grand ignorant puisse réussir très-heureusement dans cette sublime philosophie.

Mais il est faux que la vue ne nous représente pas le soleil plus grand qu'un bassin. La vue n'y décide absolument rien, ce n'est que notre jugement qui s'y trompe. Cependant, quand les objets ne sont pas fort éloignés de nous, nous no nous y trompons guère, et tant les autres sens que le degré de clarté dont nous voyons un objet rendent notre jugement assez certain sur sa grandeur et sa distance. Or, dès que nous établissons par notre jugement la distance d'un objet, nous formons aussi celui de sa véritable grandeur, sachant que la grandeur apparente est d'autant plus grande que l'objet est plus proche de nous. De là, plus nous jugeons un objet éloigné, plus nous l'estimons grand; et, réciproquement, plus nous le jugeons proche, plus nous l'estimons petit. Lorsqu'il arrive qu'une mouche passe tout près devant nos yeux, et que par quelque distraction nous la jugeons fort loin, nous la prenons pour un aigle; mais dès que nous revenons pour ainsi dire à nous-mêmes, et que nous nous avisons que l'objet était proche de nous, nous reconnaissons la mouche. La raison en est que l'angle visuel d'une mouche proche peut être aussi grand que celui d'un aigle éloigné, et que l'image peinte au fond de l'œil est la même. Il y a encore un autre phénomène très-bien connu de tout le monde, et qui a occasionné bien des disputes parmi les savants, dont il est à présent aisé de donner l'explication. Tout le monde juge la pleine lune lorsqu'elle se lève plus grande que lorsqu'elle est déjà montée assez haut au ciel, quoique l'angle visuel et la grandeur apparente soient les mêmes. Aussi le soleil, en se levant ou se couchant, paraît-il à tout le monde plus grand qu'à midi. Quelle est donc la raison de ce jugement si général et si trompeur? C'est sans doute qu'on juge le soleil et la lune à l'horizon plus loin de nous que lorsqu'ils sont déjà élevés. Mais pourquoi juge-t-on de cette sorte? On répond ordinairement que, lorsque le soleil et la lune sont à l'horizon, nous apercevons tant d'objets entre eux et nous, qui nous semblent augmenter l'éloignement; au lieu que, quand le soleil ou la lune sont fort élevés, nous ne voyons rien entre eux et nous, et partant nous les jugeons plus près de nous. Je ne sais pas si ce dénoûment satisfera Votre Altesse. On peut objecter qu'une chambre vide paraît plus grande qu'une autre fort garnie de meubles, quoiqu'elle soit de la même grandeur : donc plusieurs choses vues entre un objet et nous ne produisent pas toujours l'effet que nous jugions cet objet plus éloigné. J'espère que Votre Altesse trouvera celle-ci meilleure.

Que le cercle A (*fig.* 13) représente toute la terre, et le cercle ponctué l'atmosphère ou l'air dont la terre est entourée, et que

nous nous trouvions au lieu A. Cela posé, si la lune est à l'horizon, les rayons parviennent à nous par la ligne BA; si elle est au-dessus de nous, les rayons viennent selon la ligne CA. Dans le premier cas, les rayons traversent dans notre atmosphère le grand espace BA, et, dans l'autre cas, le petit espace CA. Or, Votre Altesse se souviendra que les rayons de lumière qui passent par un milieu transparent perdent d'autant plus de leur force que le trajet est long. Donc l'atmosphère ou l'air étant un tel milieu transparent, le rayon BA perd dans son passage beaucoup plus de sa force que le rayon CA; d'où il s'ensuit en général que tous les corps célestes paraissent beaucoup moins brillants dans l'horizon qu'au-dessus de nous. Nous pouvons même regarder directement dans le soleil lorsqu'il est à l'horizon; mais dès qu'il monte à une certaine hauteur, nos yeux ne sauraient souffrir son éclat. De là je conclus que la lune à l'horizon paraît plus faible qu'étant élevée. Or Votre Altesse se souviendra de la raison des peintures, que le même objet nous paraît plus éloigné lorsque sa lumière est affaiblie; donc la lune étant à l'horizon nous doit paraître plus éloignée qu'à quelque hauteur. Maintenant la conséquence est manifeste que, puisque nous jugeons plus grande la distance de la lune à l'horizon, nous devons aussi juger la lune même plus grande; et en général toutes les étoiles, étant près de l'horizon, nous paraissent plus grandes, puisque nous les estimons plus éloignées [1].

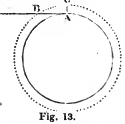


Fig. 13.

3 août 1760.

LETTRE XXXVI.

Sur l'ombre.

J'ai eu l'honneur d'exposer à Votre Altesse presque tout ce qu'on est accoutumé de traiter dans la science qu'on nomme optique. Il ne reste plus qu'un seul article sur l'ombre. Votre Altesse connaît déjà trop bien ce qu'on nomme l'ombre pour que j'aie besoin de m'y arrêter beaucoup. L'ombre suppose toujours deux choses : un corps luisant et un corps opaque qui ne transmet point les rayons

1. Voyez les Lettres XCIII à XCVII de la troisième partie.

de lumière. Le corps opaque empêche donc que les rayons d'un corps luisant ne parviennent en certains lieux derrière lui; et ces lieux où les rayons ne parviennent point constituent ce qu'on appelle l'ombre du corps opaque; ou, ce qui revient au même, l'ombre comprend tous les lieux d'où l'on ne saurait voir le corps luisant, puisque le corps opaque en intercepte les rayons.

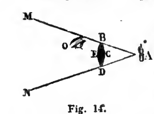


Fig. 14.

Soit A une lumière (*fig.* 14), et BCDE un corps opaque. Qu'on tire les rayons extrêmes ABM, ADN, qui touchent le corps opaque; il est évident qu'aucun rayon de la lumière A ne saurait pénétrer dans l'espace MBEDN; et en quelque lieu, comme O, de cet espace que se trouve un œil, il ne verra pas la lumière. C'est cet espace qui est l'ombre du corps opaque, et on voit que cet espace s'élargit de plus en plus et que cette ombre s'étend à l'infini. Mais si la lumière elle-même est d'une grande étendue, la détermination de l'ombre est un peu différente. On a trois cas à considérer : le premier, quand la lumière est plus petite que le corps opaque; le second, quand elle lui est égale; et le troisième, quand elle est plus grande. Le premier cas est le même que nous venons d'envisager, où la lumière était plus petite que le corps opaque.

Fig. 15.

Le second est représenté par la *fig.* 15, où A est le corps luisant de la même grandeur que le corps opaque BCED. Qu'on tire les derniers rayons ABM, AEN qui touchent le corps, et tout l'espace MBEN sera l'ombre, et partout dans cet espace il sera impossible de voir le corps luisant. On voit de plus que les lignes BM et EN sont parallèles et que l'ombre s'étend à l'infini, conservant partout la même largeur.

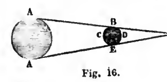


Fig. 16.

Pour le troisième cas, où le corps luisant AA (*fig.* 16) est plus grand que le corps opaque BCED, les derniers rayons qui touchent ABO et AEO concourent ensemble en O, et l'espace de l'ombre BOE devient borné, étant pointu en O. Une telle figure est nommée conique, et on dit que l'ombre dans ce cas est conique. Ce n'est que dans cet espace où la lumière ne saurait pénétrer et où il est impossible de voir le corps luisant. A ce troisième cas appar-

tiennent les ombres des corps célestes qui sont beaucoup plus petits que le corps luisant, savoir, le soleil qui les éclaire. Ici nous trouvons aussi un sujet digne de faire admirer la sagesse du Créateur. Car si le soleil était plus petit que les planètes, leurs ombres ne seraient pas terminées, mais elles s'étendraient à l'infini, ce qui priverait des espaces immenses de l'avantage d'être éclairés du soleil. Mais à présent que le soleil surpasse tant de fois les planètes, leurs ombres sont resserrées dans des espaces assez petits d'où la lumière du soleil est exclue. C'est ainsi que la terre et la lune jettent leurs ombres coniques, et il peut arriver que la lune se plonge dans l'ombre de la terre ou tout à fait ou en partie. Quand cela arrive, on dit que la lune est éclipsée ou entièrement ou en partie. Dans le premier cas, on l'appelle une éclipse totale; dans l'autre, une éclipse partielle de lune. Ensuite la lune jette aussi son ombre, mais qui est plus petite que celle de la terre; cependant il peut arriver que l'ombre de la lune s'étende jusqu'à la terre, et alors ceux qui sont privés de la lumière du soleil souffrent une éclipse du soleil. Ainsi une éclipse du soleil arrive lorsque la lune est la cause que nous ne voyons pas le soleil ou tout entier ou en partie. De nuit nous ne voyons plus le soleil, quoiqu'il n'y ait point d'éclipse; mais alors nous nous trouvons dans l'ombre même de la terre, ce qui cause pour nous la plus grande obscurité.

Jusqu'ici nous n'avons considéré que les cas où les rayons de lumière sont transmis par des lignes droites, ce qui fait l'objet de l'optique. Or, j'ai déjà remarqué que les rayons de lumière sont quelquefois réfléchis et quelquefois rompus ou réfractés. Votre Altesse se souviendra que lorsque les rayons tombent sur une surface bien polie, comme celle d'un miroir, ils en sont réfléchis; et lorsqu'ils passent d'un milieu transparent dans un autre, ils y souffrent une réfraction et sont *quasi* rompus. De là naissent deux autres sciences. Celle qui considère la vision qui se fait par des rayons réfléchis est nommée *catoptrique*, et celle qui se fait par des rayons rompus ou réfractés est nommée *dioptrique*, pendant que l'optique explique la vision qui se fait par des rayons directs. J'aurai donc l'honneur de proposer à Votre Altesse le précis de ces deux sciences, la catoptrique et la dioptrique; puisqu'elles renferment des phénomènes qui se présentent tous les jours, et dont il est fort important de savoir la cause et les propriétés. Tout ce qui regarde la vision est, sans contredit, l'objet le plus digne de notre connaissance.

5 août 1760.

LETTRE XXXVII.

De la catoptrique, et sur la réflexion des rayons par des miroirs planes en particulier.

La catoptrique s'occupe de la vision qui se fait par des rayons réfléchis. Lorsque les rayons tombent sur une surface bien polie, ils en sont réfléchis, en sorte que les angles de part et d'autre sont égaux entre eux.

Pour mettre cela dans tout son jour, soit AB (*fig.* 17) la surface d'un miroir ordinaire, et soit P un point lumineux dont les rayons PQ, PM, P*m* tombent sur le miroir. Parmi tous ces rayons, soit PQ celui qui tombe perpendiculairement sur le miroir, et qui a cette propriété sur tous les autres, qu'il est réfléchi sur lui-même, suivant QP; de même que sur un billard, quand on pousse une bille perpendiculairement contre une bande, elle en est repoussée par le même chemin. Or tout autre rayon comme PM est réfléchi sur la ligne MN, en sorte que l'angle AMN soit égal à l'angle BMP; où il faut remarquer que le rayon PM est nommé le *rayon incident*, et MN le *rayon réfléchi*. De la même manière, au rayon incident P*m* répondra le rayon réfléchi *mn;* et, par conséquent, à cause de la réflexion, le rayon PM est continué par la ligne MN, et le rayon P*m* par la ligne *mn :* de sorte qu'on a l'angle AMN égal à BMP, et l'angle A*mn* égal à B*m*P; laquelle propriété est énoncée, en sorte qu'on dit que l'angle de réflexion est toujours égal à l'angle d'incidence. J'ai déjà eu l'honneur de faire remarquer cette belle propriété à Votre Altesse; mais maintenant je ferai voir quels phénomènes en doivent résulter dans la vision. D'abord il est clair qu'un œil, étant placé en N, recevra du point lumineux P le rayon réfléchi MN; ainsi le rayon qui y excite le sentiment vient dans la direction MN, de même que si l'objet P se trouvait quelque part sur la ligne MN : d'où il s'ensuit que l'œil doit voir l'objet P dans la direction NM. Pour nous éclaircir mieux là-dessus, il faut recourir à la géométrie, et Votre Altesse se rappellera avec plaisir les propositions sur lesquelles est fondé le raisonnement suivant. Qu'on prolonge le rayon perpendiculaire PQ derrière le miroir jusqu'en R, de sorte que QR soit égal à PQ, et je ferai voir que tous les rayons réfléchis MN et *mn*, étant prolongés en arrière, se réunissent dans ce point. Car, considérant les

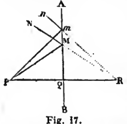


Fig. 17.

deux triangles PQM et RQM, ils ont d'abord le côté MQ commun; ensuite le côté QR est égal au côté PQ; et enfin, puisque l'angle PQM est droit, son angle de suite RQM sera aussi droit. Donc ces deux triangles, ayant deux côtés égaux avec l'angle intercepté, seront aussi égaux, et, partant, l'angle PMQ sera égal à l'angle RMQ. Or l'angle AMN, étant opposé par la pointe à RMQ, lui est égal: il sera donc aussi égal à l'angle PMQ, qui est l'angle d'incidence; ainsi l'angle AMN sera l'angle de réflexion, comme la nature de la réflexion l'exige. De la même manière on voit que le rayon réfléchi *mn*, étant prolongé, passe aussi par le point R : donc tous les rayons du point P, qui sont réfléchis du miroir, tiennent précisément la même route que s'ils venaient du point R, et produisent par conséquent dans l'œil le même effet que si l'objet P était effectivement placé derrière le miroir en R, ce point se trouvant sur la perpendiculaire PQR, autant derrière le miroir que l'objet P est en avant. De là Votre Altesse comprend à présent très-distinctement pourquoi les miroirs représentent les objets derrière eux, et pourquoi nous y voyons tous les objets de la même manière que si les mêmes objets se trouvaient derrière le miroir, et cela à une distance égale à celle dont ils se trouvent devant le miroir. C'est ainsi que le miroir transporte presque les objets dans un autre lieu sans en changer l'apparence. Pour distinguer cet objet apparent du véritable objet, on nomme l'objet apparent l'*image*, et on dit que les images représentées par les rayons réfléchis se trouvent derrière le miroir. Cette dénomination sert à mieux distinguer les objets réels de leurs images que les miroirs nous représentent; et les images que nous voyons dans les miroirs sont parfaitement égales et semblables aux objets, à l'exception que ce qu'il y a dans l'objet à gauche paraît dans l'image à droite, et réciproquement. Ainsi un homme qui porte l'épée à gauche paraît dans le miroir portant l'épée à droite.

Par ce que je viens de dire, il est toujours aisé d'assigner l'image d'un objet quelconque derrière le miroir.

Car AB étant un miroir (*fig.* 18), et EF un objet qui soit une flèche : qu'on tire des points E et F des perpendiculaires EG et FH sur la surface du miroir, et qu'on les prolonge en *e f*, de sorte que EG = *e* G et FH = *f* H, et l'image sera *ef*, laquelle sera égale à l'objet EF, puisque la figure quadrilatère G*ef*H est, à tous égards, égale à GEFH. De là on comprend aussi que quand même on retrancherait du

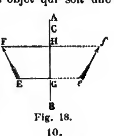


Fig. 18.

miroir une partie comme CB, de sorte que AC fût le miroir, l'image *ef* n'en sera point changée. Et, par conséquent, quand le milieu n'est pas assez grand pour que les perpendiculaires EG et FH y puissent tomber, il faut concevoir que le plan du miroir soit continué, comme on continue dans la géométrie les lignes lorsqu'on y veut tirer des perpendiculaires. Or, ce que je viens de dire ne regarde que les miroirs ordinaires dont la surface est parfaitement plane. Les miroirs convexes et concaves produisent des effets différents.

7 août 1760.

LETTRE XXXVIII.

Sur la réflexion des rayons par des miroirs convexes et concaves, et sur les miroirs ardents.

Tout ce qui regarde la réflexion des rayons se réduit, comme Votre Altesse vient de le voir, à deux choses, dont l'une est le lieu de l'image que les rayons réfléchis représentent, et l'autre est le rapport de l'image à l'objet. Dans les miroirs ordinaires ou plans, le lieu de l'image est derrière le miroir à une distance égale à celle de l'objet qui se trouve devant le miroir, et l'image est semblable à l'objet. C'est à ces deux choses qu'il faut avoir égard lorsque le miroir n'est pas plan, mais que sa surface est convexe ou concave; car alors l'image est pour l'ordinaire très-défigurée. Votre Altesse aura déjà observé que lorsqu'on regarde une cuiller bien polie, soit dans sa surface intérieure concave, soit dans l'extérieure convexe, on voit son image fort défigurée; mais une boule d'argent bien polie représente assez bien les objets, mais plus petits. Or, si la surface intérieure d'une telle boule est bien polie, les objets paraissent plus grands, supposé qu'ils n'en soient pas trop éloignés; car les mêmes objets y pourront aussi paraître plus petits et renversés, si on les éloigne du miroir. Il n'est pas besoin qu'on prenne une boule entière; une partie quelconque de la surface produit le même effet. Tels miroirs sont nommés sphériques; et il y en a de deux espèces, de convexes et de concaves, selon qu'ils sont tirés de la surface extérieure ou intérieure de la sphère. On fait ces miroirs d'une certaine *mixture* de quelques métaux qui est susceptible d'un bon poli; au lieu que les miroirs plans sont faits d'une table de verre, et couverts d'un côté d'un mer-

cure préparé pour procurer la réflexion des rayons. Je commence par les miroirs convexes.

Soit ACB (*fig.* 19) un miroir appartenant à une sphère dont le centre soit en G. Si l'on prend devant ce miroir un objet à une grande distance en E, son image paraîtra derrière le miroir en D, qui est au milieu du rayon de la sphère CG; et cette image sera autant de fois plus petite que l'objet, que la ligne CD est plus petite que la distance de l'objet CE. Si l'on approche l'objet E du miroir, son image s'y approchera aussi. Tout cela se démontre par la géométrie, supposant qu'un rayon incident quelconque EM est réfléchi en sorte selon MN que l'angle BMN soit égal à l'angle CME. Ainsi, quand l'œil est en N, recevant le rayon réfléchi MN, il verra l'objet E selon la direction NM dans le miroir en D; ou bien D sera l'image de l'objet situé en E, mais qui sera plus petite. Il est aussi aisé de voir que plus la sphère dont le miroir fait partie est petite, plus aussi l'image en sera diminuée.

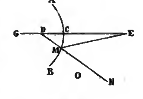


Fig. 19.

Je passe aux miroirs concaves, dont l'usage est très-commun en plusieurs occasions. Soit ACB (*fig.* 20) un miroir faisant partie d'une sphère dont le centre est en G, et GC un rayon. Maintenant concevons un objet en E fort éloigné du miroir, son image paraîtra devant le miroir en D, au milieu du rayon CG; car un rayon de lumière quelconque EM qui tombe de l'objet E dans le miroir au point M, y sera tellement réfléchi qu'il passera par le point D; et lorsque l'œil est placé en N, il verra l'image de l'objet en D; mais cette image sera autant de fois plus petite que l'objet, que la distance CD est plus petite que la distance CE. Or, quand on approche l'objet du miroir, l'image s'en éloignera; l'objet étant placé au centre même de la sphère G, l'image se trouvera aussi en G. Si l'on approche l'objet jusqu'en D, l'image s'éloignera au delà de E à l'infini. Mais si l'objet se trouve encore plus près entre C et D, l'image tombera derrière le miroir et paraîtra plus grande que l'objet. Lorsqu'on se regarde dans un tel miroir, se plaçant entre D et C, on y voit son visage d'une grandeur affreuse. Tout cela se prouve par la nature de la réflexion, en vertu de laquelle l'angle d'incidence EMA est toujours égal à l'angle de ré-

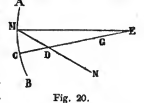


Fig. 20.

flexion CMN. C'est à cette espèce de miroirs qu'il faut rapporter les miroirs ardents, et tout miroir concave peut être employé à brûler. Cette surprenante propriété mérite d'être expliquée plus soigneusement.

Soit ACB (*fig.* 21) un miroir concave dont le centre est G; et au lieu de l'objet, soit le soleil en E : ses rayons réfléchis représenteront l'image du soleil en D, qui est le milieu de CG. Or la grandeur de cette image sera déterminée par les rayons extrêmes SC, SC. Cette image du soleil sera donc fort petite; et puisque tous les rayons du soleil qui tombent sur le miroir ACB sont réfléchis dans cette image, ils y seront réunis et auront d'autant plus de force que l'image D sera plus petite que la surface du miroir. Or les rayons du soleil, outre la force d'éclairer, sont doués d'une force d'échauffer : d'où il s'ensuit qu'il doit se trouver en D un grand degré de chaleur; et quand le miroir est assez grand, cette chaleur peut devenir plus forte que le feu le plus violent. En effet, par le moyen d'un tel miroir, on brûle dans un instant tous les bois et on fond même tous les métaux. Ce n'est que l'image du soleil qui produit ces effets surprenants. On nomme communément cette image le *foyer du miroir*, qui tombe toujours au milieu, entre le miroir et son centre G.



Fig. 21

Il faut bien distinguer les miroirs ardents des verres ardents, qui seront connus de Votre Altesse, et dont j'aurai occasion de parler l'ordinaire prochain.

9 août 1760.

LETTRE XXXIX.

De la dioptrique.

Ayant eu l'honneur d'exposer à Votre Altesse les principaux phénomènes de la catoptrique, qui résultent de la réflexion des rayons de la lumière; il me reste à parler de la dioptrique, où il s'agit de la réfraction des rayons qui se fait lorsque les rayons passent par différents milieux transparents. Un rayon de lumière ne poursuit sa route en ligne droite qu'autant qu'il se trouve dans

le même milieu. Dès qu'il entre dans un autre milieu transparent, il change de direction, plus ou moins, selon qu'il y tombe plus ou moins obliquement. Il n'y a qu'un seul cas où il conserve sa route rectiligne, qui est lorsqu'il entre perpendiculairement dans l'autre milieu. Les instruments qu'on considère principalement dans la dioptrique sont des verres tels qu'on en met en usage dans les lunettes et microscopes. Ces verres sont ronds comme des cercles, mais ayant deux faces. Tout revient à la figure de ces deux faces, qui est ou plane, ou convexe, ou concave. Or tant la figure convexe que la concave fait partie d'une sphère dont il faut connaître le rayon, qui est presque la mesure de la convexité et de la concavité. Cela remarqué, on a plusieurs espèces de ces verres dioptriques.

La première espèce, nº I (*fig.* 22), est celle où les deux faces sont planes. En coupant un cercle dans un miroir, on aura un tel verre, qui ne change rien dans les objets. La seconde espèce, nº II, a une surface plane et l'autre convexe; on nomme ces verres *plano-convexes*. La troisième espèce, nº III, a une face plane et l'autre concave; ces verres sont nommés *plano-concaves*. La quatrième espèce, nº IV, est celle où les deux faces sont convexes; on les nomme *convexo-convexes*. La cinquième espèce, nº V, a les deux faces concaves; on nomme ces verres *concavo-concaves*. Les espèces nºs VI et VII ont une face convexe et l'autre concave; ces verres sont nommés *ménisques*. Or tous ces verres se rapportent à deux classes dont l'une renferme ceux où la convexité prévaut, comme nºs II, IV, VI; et l'autre où la concavité a le dessus, comme nºs III, V, VII. Ceux-là sont nommés simplement *convexes*, et ceux-ci simplement *concaves*. Ces deux classes se distinguent par la propriété suivante.

I II III IV V VI VII

Fig. 22.

Soit AB (*fig.* 23) un verre convexe qu'on expose à un objet EF fort éloigné, dont les rayons GA, GC, GB, tombent sur le verre, et, en y passant, souffrent la réfraction qui se fera, en sorte que les rayons sortis du point G se réunissent par la réfraction derrière le verre en *g*. La même chose arrivera aux rayons qui sortent de chaque point de l'objet. Par cette altération, tous les rayons réfractés A*l*, B*m*, C*n*, poursuivront la même route que si l'objet était en *egf*, dans une situation renversée, et qu'il fût autant de fois plus petit que la distance C*g* est moindre que la distance CG. On dit donc qu'un tel verre représente l'objet EF derrière lui en *ef*,

et on nomme cette représentation l'*image*, laquelle est par conséquent renversée, et autant de fois plus petite que l'objet même, qu'elle est plus proche du verre que l'objet. De là il est clair que si le soleil tient lieu de l'objet, l'image représentée en *ef* sera celle du soleil : quoique très-petite, elle sera si brillante qu'on ne saurait la regarder sans être ébloui; car tous les rayons qui traversent le verre se réunissent dans cette image et y exercent leur double force d'éclairer et d'échauffer. La chaleur y est à peu près autant de fois plus grande que la surface du verre surpasse la grandeur de l'image du soleil, qu'on nomme son *foyer;* d'où, si le verre est fort grand, on peut faire des prodiges par la force de la chaleur. Des matières combustibles mises au foyer d'un tel verre sont brûlées dans un instant. Les métaux y sont fondus et même réduits en verre; et on produit par ces verres ardents des effets beaucoup supérieurs à tout ce qu'on est en état de faire par le feu le plus violent. La raison en est la même que celle des miroirs ardents. Dans les uns et les autres, les rayons du soleil répandus sur la surface tout entière du miroir ou du verre sont réunis dans le petit espace de l'image du soleil. La seule différence est que dans les miroirs cette réunion se fait par la réflexion, et dans les verres par la réfraction. C'est l'effet des verres convexes, qui sont plus épais au milieu qu'aux extrémités, tels que je les ai représentés nos II, IV et VI (*fig.* 22). Or les verres des nos III, V et VII, qui sont plus épais aux extrémités qu'au milieu, qu'on nomme simplement *concaves*, produisent un effet contraire.

Fig. 23.

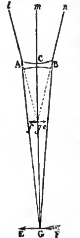


Fig. 24.

Soit un tel verre ACB (*fig.* 24). Si l'on expose à une grande distance l'objet EGF, les rayons GA, GC, GB, qui sortent du point G, sont ainsi rompus par le verre en *l*, *m* et *n*, comme s'ils venaient du point *g;* et un œil placé derrière le verre, comme en *m*, verra l'objet de la même manière que s'il était placé debout en *egf*, mais autant de fois plus petit que la distance CG surpasse la distance G*g*. Donc, comme les verres convexes représentent l'image des objets fort éloignés derrière eux, les verres concaves la représentent devant eux, ceux-là renversée et ceux-ci debout. Or, dans les uns et dans les autres, l'image est autant de fois

diminuée qu'elle est plus proche du verre que l'objet même. C'est sur cette propriété des verres qu'est fondée la construction de tous les microscopes et télescopes, ou lunettes.

11 août 1760.

LETTRE XL.

Continuation de la même matière, en particulier des verres ardents et de leurs foyers.

Les verres convexes me fournissent encore quelques remarques que j'aurai l'honneur de proposer à Votre Altesse. Je parle ici en général des verres convexes, qui sont plus épais au milieu qu'aux extrémités, soit que toutes les deux faces soient convexes, ou qu'une des deux soit plane et l'autre convexe, ou même une concave et l'autre convexe; mais en sorte que la convexité surpasse la concavité, ou que l'épaisseur au milieu soit plus grande qu'aux extrémités. On suppose, outre cela, que les faces de ces verres soient travaillées d'une figure circulaire ou plutôt sphérique. Ces verres ont d'abord cette propriété, qu'étant exposés au soleil ils présentent derrière eux un foyer qui est l'image du soleil, douée d'une double force d'éclairer et de brûler. La raison en est que tous les rayons qui partent d'un point du soleil sont réunis par la réfraction du verre dans un seul point. La même chose arrive, quelque autre objet qu'on expose à un tel verre; il en présente toujours une image, qu'on voit au lieu de l'objet même. Tout cela deviendra plus clair par la *fig.* 25.

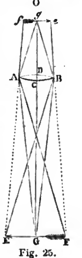


Fig. 25.

Soit ABCD un verre convexe devant lequel se trouve un objet EGF, dont il suffira de considérer les trois points E, G, F. Les rayons qui, du point E, tombent sur le verre, sont renfermés dans l'espace AEB; et dans la réfraction tous sont réduits dans l'espace A*e*B, de sorte qu'ils sont réunis dans le point *e*. De la même manière les rayons du point G, qui tombent sur le verre, remplissent l'espace AGB; et ceux-ci sont réduits par la réfraction dans l'espace A*g*B, se réunissant au point *g*. Enfin les rayons du point F, qui tombent sur le verre dans l'angle AFB, sont rompus, en sorte

qu'ils se réunisent au point *f*. De cette manière, on aura l'image *egf* dans une situation renversée derrière le verre ; et un œil placé derrière cette image, comme en O, sera affecté de la même manière que si l'objet se trouvait en *egf* renversé et autant de fois plus petit que la distance D*g* est plus petite que la distance CG. Pour juger du lieu de l'image *egf*, il faut avoir égard tant à la nature du verre qu'à la distance de l'objet. Pour le premier, plus le verre est convexe, c'est-à-dire plus l'épaisseur du milieu CD surpasse celle des extrémités, plus l'image est proche du verre. Pour l'autre, il faut remarquer que si l'on approche l'objet EF du verre, l'image *ef* s'en éloigne et réciproquement. L'image ne saurait se trouver plus près du verre que lorsque l'objet en est fort éloigné; elle se trouve alors à la même distance que l'image du soleil, qu'on nomme le *foyer du verre*. Donc si l'objet est fort éloigné, l'image tombe dans le foyer même: et plus on approche l'objet du verre, plus aussi l'image s'en éloigne ; et cela selon une règle démontrée dans la dioptrique, par le moyen de laquelle on peut toujours assigner le lieu de l'image pour toutes les distances de l'objet, pourvu qu'on connaisse le foyer du verre ou la distance à laquelle tombe l'image du soleil, où s'exerce la force de brûler. Or, cette distance se trouve aisément par l'expérience. C'est de là qu'on tire la dénomination des verres, en disant : Un tel verre a son foyer à la distance d'un pouce, un autre à la distance d'un pied, un autre à la distance de dix pieds, et ainsi de suite. Les longues lunettes demandent des verres qui aient leur foyer à une grande distance, et il est très-difficile de faire de tels verres qui soient bons. J'ai autrefois payé 150 écus pour un verre qui avait son foyer à la distance de 600 pieds, que j'ai envoyé à l'Académie de Pétersbourg, et je suis bien persuadé qu'il ne valait pas grand'-chose; mais on le voulait à cause de la rareté. Pour faire voir à Votre Altesse que la représentation de l'image *egf* (dans la figure précédente) est bien réelle, on n'a qu'à tenir dans ce lieu un papier blanc, dont les particules sont susceptibles de toutes espèces de vibrations d'où dépendent les couleurs. Alors tous les rayons du point E de l'objet, en se réunissant au point *e*, y mettront la particule du papier dans un mouvement de vibration semblable à celui qu'a le point E, et par conséquent il s'y formera la même couleur. Pareillement, les points *g* et *f* auront les mêmes couleurs que les points G et F de l'objet, et aussi on verra sur le papier exprimés tous les points de l'objet avec leurs couleurs naturelles; ce qui représentera la plus exacte et la plus belle peinture de l'objet. Cela réussit d'autant mieux dans une chambre obscure, mettant le

verre dans un trou du volet, où l'on pourra voir sur un papier blanc tous les objets de dehors si exactement peints qu'on pourra les suivre avec un crayon. Les peintres se servent d'une telle machine pour dessiner les paysages et les vues.

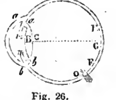
13 août 1760.

LETTRE XLI.

Sur la vision et la structure de l'œil.

Maintenant je me vois en état d'expliquer à Votre Altesse de quelle manière se fait la vision dans les yeux des hommes et de tous les animaux, ce qui est sans doute la chose la plus merveilleuse à laquelle l'esprit humain ait pu pénétrer. Quoiqu'il s'en faille beaucoup que nous la connaissions parfaitement, cependant ce peu que nous en savons est plus que suffisant pour nous convaincre de la toute-puissance et l'infinie sagesse du Créateur; et ces merveilles doivent ravir nos esprits à la plus pure adoration de l'Être suprême. Nous reconnaîtrons dans la structure des yeux des perfections que l'esprit le plus éclairé ne saurait jamais approfondir; et le plus habile artiste ne saurait jamais fabriquer une machine de cette espèce qui ne soit infiniment au-dessous de tout ce que nous découvrons dans les yeux, quand même nous lui accorderions le pouvoir de former la matière à son gré, et le plus haut degré de pénétration dont un homme peut être susceptible.

Je ne m'arrêterai pas ici à la description anatomique de l'œil; il suffira à mon dessein de remarquer que la membrane d'avant *aAb* (*fig.* 26) est transparente et se nomme la *cornée*, derrière laquelle on trouve en dedans une autre membrane *am*, *bm*, circulaire, teinte de couleurs, qu'on nomme l'*iris*; au milieu de laquelle est un trou *mm*, qu'on nomme la *pupille*, qui nous paraît noire au milieu de l'iris. Derrière ce trou se trouve un corps *bBCa*, semblable à un petit verre ardent parfaitement transparent, d'une substance membraneuse, qu'on nomme le *cristallin*. Derrière le cristallin, la cavité de l'œil est remplie d'une gelée parfaitement transparente, qu'on nomme l'*humeur vitrée*. Or, la cavité d'avant, entre la cornée *aAb* et le cristallin *ab*, contient une liqueur fluide comme l'eau, qu'on nomme l'*humeur aqueuse*. Voilà donc quatre


Fig. 26.

matières transparentes, par lesquelles les rayons de lumière qui entrent dans l'œil doivent passer : 1° la cornée; 2° l'humeur aqueuse, entre A et B; 3° le cristallin *bBCa*, et 4° l'humeur vitrée : ces quatre matières diffèrent en densité, et les rayons passant de l'une à l'autre souffrent une réfraction particulière, et sont tellement arrangés, que les rayons qui viennent d'un point de quelque objet se réunissent au dedans de l'œil encore dans un point et y présentent une image. Or le fond de l'œil en EGF est tapissé d'un tissu blanchâtre propre pour recevoir les images, comme j'ai remarqué que, par le moyen d'un verre convexe, on peut représenter sur un fond blanc les images des objets. C'est donc conformément au même principe que tous les objets dont les rayons entrent dans l'œil se trouvent dépeints au naturel sur le fond blanchâtre de l'œil, lequel fond est nommé la *rétine*. Quand on prend un œil de bœuf et qu'on en ôte les parties extérieures qui couvrent la rétine, on y voit tous les objets dépeints si exactement qu'aucun peintre ne saurait les imiter. Et toujours pour voir un objet, tel qu'il soit, il faut que son image soit dépeinte au fond de l'œil sur la rétine; et quand, par quelque malheur, il arrive que quelques parties de l'œil se gâtent ou perdent leur transparence, on devient aveugle. Mais il ne suffit pas, pour voir les objets, que leurs images soient dépeintes sur la rétine; il y a des personnes qui, nonobstant cela, sont aveugles : d'où l'on voit que les images dépeintes sur la rétine ne sont pas encore l'objet immédiat de la vision, et que la perception de notre âme se fait autre part. La rétine dont le fond de l'œil est tapissée est un tissu des plus subtils filets de nerfs qui communiquent avec un grand nerf qui, venant du cerveau, entre en O dans l'œil, et qu'on nomme le *nerf optique*. Par les rayons de lumière qui forment l'image au fond de l'œil, ces petits nerfs de la rétine en sont agités, et cette agitation est transmise, par le nerf optique, plus loin qu'au cerveau; et c'est sans doute là que l'âme tire la perception; mais le plus adroit anatomiste n'est pas en état de poursuivre les nerfs jusqu'à leur origine, et cela nous demeurera toujours un mystère qui renferme la liaison de notre âme avec le corps. De quelque manière qu'on envisage cette liaison, on est obligé de la reconnaître pour le plus éclatant miracle de la toute-puissance de Dieu, que nous ne saurions jamais approfondir. Que ces esprits forts qui rejettent tout ce qu'ils ne peuvent comprendre par leurs esprits bornés devraient être confondus par cette réflexion!

15 août 1760.

LETTRE XLII.

Continuation et contemplation des merveilles qu'on découvre dans la structure de l'œil.

J'espère que Votre Altesse sera bien aise de contempler avec moi plus soigneusement les merveilles que nous pouvons découvrir dans la structure de l'œil. Et d'abord la pupille nous fournit un très–digne objet d'admiration. La pupille est ce trou noir au milieu de l'iris ou de l'*étoile*, par lequel les rayons passent dans l'intérieur de l'œil. Plus ce trou est ouvert, plus aussi de rayons peuvent entrer dans l'œil et former sur la rétine l'image qui y paraît dépeinte; et, partant, cette image sera d'autant plus brillante que la pupille sera plus ouverte. Or on n'a qu'à regarder bien les hommes dans leurs yeux pour voir que l'ouverture de leur pupille est tantôt plus grande et tantôt plus petite. On remarque généralement que la pupille est fort resserrée lorsqu'on se trouve dans un grand éclat de lumière, et qu'elle est, au contraire, fort ouverte quand on se trouve dans un lieu peu éclairé. Cette variation est très-nécessaire pour la perfection de la vision. Quand nous nous trouvons dans une grande lumière, les rayons étant plus forts, une moindre quantité est suffisante pour ébranler les nerfs de notre rétine, et c'est alors que la pupille est resserrée. Si elle était plus ouverte et qu'elle admît des rayons en plus grande quantité, leur force ébranlerait trop les nerfs et causerait de la douleur. C'est le cas où nous ne saurions regarder dans le soleil sans être éblouis et sans une douleur très–sensible dans le fond de l'œil. S'il nous était possible de contracter encore davantage la pupille pour ne recevoir qu'une très-petite quantité de rayons, nous n'en sentirions plus d'incommodité; mais la contraction de la pupille ne dépend pas de notre pouvoir. Les aigles ont cet avantage, qu'ils peuvent directement regarder le soleil; mais aussi a–t–on remarqué que leur pupille se contracte alors tant qu'elle paraît être réduite à un point. Comme une grande clarté demande une très-petite ouverture de la pupille, ainsi plus la clarté diminue, plus aussi la pupille s'élargit, et dans l'obscurité elle s'ouvre au point qu'elle occupe presque tout l'iris. Si l'ouverture demeurait aussi petite que dans la clarté, les faibles rayons qui y entreraient ne seraient pas capables d'agiter les nerfs autant que le sentiment l'exige. Il faut alors que les rayons entrent dans l'œil en plus grande abondance pour

y produire un effet sensible. S'il nous était possible d'ouvrir la pupille encore davantage, nous pourrions encore bien voir dans une assez grande obscurité. On allègue à cette occasion l'exemple d'un homme qui, après avoir reçu un coup dans l'œil, eut la pupille tellement élargie qu'il pouvait lire et distinguer les moindres choses dans la plus grande obscurité. Les chats et plusieurs autres animaux qui font leurs expéditions dans les ténèbres ont la faculté d'élargir leurs pupilles bien plus que les hommes; et les hiboux ont toujours leurs pupilles trop ouvertes pour qu'ils puissent supporter un médiocre degré de clarté. Or, lorsque la pupille des hommes s'élargit ou se resserre, ce n'est pas un acte de leur volonté, et l'homme n'est pas le maître d'ouvrir et de contracter la pupille quand il veut. Dès qu'il se trouve dans un endroit fort éclairé, sa pupille se contracte; et quand il retourne dans un lieu moins clair ou obscur, elle se dilate : mais ce changement ne se fait pas dans un instant; il faut attendre quelques minutes, jusqu'à ce qu'elle s'accommode aux circonstances. Ainsi Votre Altesse aura déjà remarqué, quand elle est passée subitement d'un grand éclat de lumière dans un lieu obscur, comme dans la comédie de Schuch, qu'elle n'a pu d'abord distinguer les personnes qui s'y trouvaient. La pupille était encore trop étroite pour que le peu de rayons faibles qu'elle admettait fût capable de faire une impression sensible; mais peu à peu la pupille s'élargissait pour recevoir assez de rayons. Le contraire arrive lorsqu'on passe subitement d'un lieu obscur dans un grand éclat. Alors, la pupille étant trop ouverte, la rétine est trop vivement frappée et on se trouve tout à fait ébloui, de sorte qu'on est obligé de fermer les yeux. C'est donc une circonstance fort remarquable que la pupille se resserre et s'élargit selon les besoins de la vision, et que ce changement arrive presque de lui-même, sans que la volonté y ait aucune part. Les philosophes qui examinent la structure et les fonctions du corps humain sont fort partagés sur cet article, et il y a peu d'apparence qu'on en découvre jamais la véritable raison. Cependant cette variabilité de la pupille est un article très-essentiel à la vision, sans lequel elle serait fort imparfaite. Mais nous découvrirons encore bien d'autres merveilles.

17 août 1760.

LETTRE XLIII.

Continuation, et en particulier sur la différence énorme entre l'œil d'un animal et l'œil artificiel, ou une chambre obscure.

Le principe sur lequel la structure de l'œil est fondée est, en général, le même que celui d'où j'ai eu l'honneur d'expliquer à Votre Altesse la représentation des objets sur un papier blanc par le moyen d'un verre convexe. L'un et l'autre revient à ce que tous les rayons qui viennent d'un point de l'objet sont de nouveau réunis dans un seul point par la réfraction; et il semble peu important que cette réfraction se fasse par un seul verre ou par plusieurs matières transparentes dont l'œil est composé. De là on pourrait même soupçonner qu'une structure plus simple que l'œil, en n'y employant qu'une seule matière transparente, aurait fourni les mêmes avantages; ce qui serait une instance bien forte contre la sagesse du Créateur, qui assurément a suivi dans ses ouvrages la route la plus simple et qui a employé les moyens les plus propres. Il y a eu des esprits forts et il y en a encore assez qui se vantent que si Dieu, à la création, avait demandé leur avis, ils auraient pu lui donner de bons conseils et que bien des choses seraient plus parfaites. Ils s'imaginent qu'ils auraient pu fournir un plan plus simple et plus propre pour la structure de l'œil. J'examinerai cet œil des esprits forts, et, d'après cet examen, Votre Altesse verra très-clairement que cet ouvrage serait très-défectueux et tout à fait indigne d'être mis en parallèle avec les ouvrages du Créateur.

L'œil de ces esprits forts se réduirait donc à un seul verre convexe ACBD (*fig.* 27), sur lequel j'ai bien remarqué qu'il rassemble dans un point tous les rayons qui viennent d'un point de l'objet; mais cela n'est vrai qu'à peu près. La figure circulaire qu'on donne aux faces du verre a toujours ce défaut que les rayons qui tombent sur les extrémités du verre ne se réunissent pas au même point que ceux qui passent par le milieu du verre. Il y a toujours une petite différence presque insensible dans les expériences où nous recevons l'image sur un papier blanc; mais si elle arrivait dans l'œil même, elle rendrait la vision fort confuse. Ces gens-là disent bien qu'on pourrait trouver, au lieu de la circulaire, une autre figure pour les faces du verre, qui eût cette propriété qu'elle réunit tous les rayons sortant du point O de nouveau dans un point R,



Fig. 27.

soit qu'il passe par le milieu du verre ou par ses bords. Je conviens que cela serait possible; mais si le verre avait cette propriété à l'égard du point O, qui se trouve à une certaine distance CO du verre, il ne l'aurait plus pour les points plus ou moins éloignés du verre; et quand même cela serait possible, ce qui n'est pourtant pas, il est très-certain qu'il perdrait cette qualité à l'égard des objets situés à côté, comme en T. Aussi voit-on que lorsqu'on représente les objets sur un papier blanc, quoique ceux qui se trouvent directement devant le verre, comme en O, soient assez bien exprimés, les objets situés obliquement devant le verre, comme en T, sont toujours fort défigurés et confusément exprimés; ce qui est un défaut tel que le plus habile artiste ne saurait y remédier. Mais il y en a encore un autre qui n'est pas moins considérable. Quand j'ai parlé à Votre Altesse des rayons de diverses couleurs, j'ai remarqué qu'en passant d'un milieu transparent dans un autre, ils souffrent une réfraction différente, et que les rayons rouges souffrent la plus petite réfraction, et les violets la plus grande. Ainsi, si le point O était rouge et que ses rayons, en passant par le verre AB, fussent réunis au point R, ce serait là le lieu de l'image rouge; mais si le point O était violet, la réunion des rayons se ferait plus près du verre en V. Ensuite, puisque la couleur blanche est un mélange de toutes les couleurs simples, un objet blanc mis en O formerait plusieurs images à la fois situées à diverses distances du point O; d'où résulterait sur la rétine une tache colorée qui troublerait beaucoup la représentation. On observe aussi, en effet, que dans une chambre obscure, lorsqu'on y représente sur un papier blanc les objets de dehors, ils y paraissent bordés des couleurs de l'arc-en-ciel, et il est même impossible de remédier à ce défaut en n'employant qu'un seul corps transparent. Or, on a remarqué que cela est possible par le moyen de différentes matières transparentes; mais ni la théorie ni la pratique n'ont encore été portées au point de perfection nécessaire pour pouvoir exécuter une telle construction, qui remédierait à tous ces défauts. Cependant, l'œil que le Créateur a fait n'a aucune de toutes les imperfections que je viens de rapporter, ni plusieurs autres encore auxquelles l'œil de l'esprit fort serait assujetti. D'où l'on comprend la véritable raison pourquoi la sagesse divine a employé plusieurs matières transparentes à la formation des yeux : c'est pour les affranchir de toutes les imperfections qui caractérisent les ouvrages des hommes. Quel beau sujet de notre admiration ! et le Psalmiste a bien raison de nous conduire à cette importante demande : Celui qui a l'œil ne verrait-il pas lui-même? et celui qui a fabriqué l'oreille

n'entendrait-il point? Un seul œil étant un chef-d'œuvre qui surpasse tout l'entendement humain, quelle sublime idée devons-nous nous former de celui qui a pourvu non-seulement tous les hommes, mais aussi tous les animaux, et même les plus vils insectes, de ce merveilleux présent, et cela au plus haut degré de perfection!

19 août 1760.

LETTRE XLIV.

Sur les autres perfections qu'on découvre dans la structure de l'œil.

L'œil surpasse donc infiniment toutes les machines que l'adresse humaine est capable de produire. Les diverses matières transparentes dont il est composé ont non-seulement un degré de densité capable de causer des réfractions différentes, mais leur figure est aussi déterminée en sorte que tous les rayons sortis d'un point de l'objet sont exactement réunis dans un même point, quoique l'objet soit plus ou moins éloigné, situé devant l'œil directement ou obliquement, et que ses rayons souffrent une différente réfraction. Au moindre changement qu'on ferait dans la nature et la figure des matières transparentes, l'œil perdrait d'abord tous les avantages que nous venons d'admirer. Cependant les athées ont la hardiesse de soutenir que les yeux, aussi bien que le monde tout entier, ne sont que l'ouvrage d'un pur hasard. Ils n'y trouvent rien qui mérite leur attention. Ils ne reconnaissent aucune marque de sagesse dans la structure des yeux. Ils croient plutôt avoir grande raison de se plaindre de leur imperfection, ne pouvant voir ni dans l'obscurité ni à travers une muraille, ni distinguer les plus petites choses dans les objets fort éloignés, comme dans la lune et les autres corps célestes. Ils crient hautement que l'œil n'est pas un ouvrage fait à dessein, qu'il est formé au hasard, comme un morceau de limon qu'on rencontre dans la campagne, et qu'il est absurde de dire que nous avons des yeux afin que nous puissions voir; mais que plutôt, ayant reçu les membres par hasard, nous en profitons autant que leur nature le permet. Votre Altesse apprendra avec indignation de tels sentiments, qui ne sont pourtant que trop communs aujourd'hui parmi les gens qui se croient sages tout seuls et qui se moquent hautement de ceux qui trouvent dans le monde des traces les plus marquées d'un Créateur souverainement puissant et sage. Il est inutile de s'engager dans une dispute avec ces gens-là; ils demeurent inébranlables dans leur sentiment et nient

les vérités les plus respectables : tant il est vrai, ce que le Psalmiste dit, que ce ne sont que les fous qui disent dans leur cœur qu'il n'y a point de Dieu ! Leurs prétentions à l'égard des yeux sont aussi absurdes qu'injustes. Rien n'est plus absurde, en effet, que de vouloir voir les choses au travers des corps par lesquels les rayons de lumière ne sauraient passer ; et pour ce qui regarde une telle vue qui pourrait distinguer dans les étoiles les plus éloignées les moindres objets, il faut remarquer que nos yeux sont disposés à nos besoins ; et tant s'en faut qu'on prétende davantage, nous devons plutôt regarder ce merveilleux présent de l'Être suprême avec la plus humble vénération. Au reste, afin que nous voyions les objets distinctement, il ne suffit pas que les rayons qui viennent d'un point soient réunis dans un autre point. Il faut, outre cela, que ce point de réunion tombe précisément sur la rétine, au fond de l'œil ; s'il tombait en deçà ou au delà, la vision deviendrait confuse. Or, si pour une certaine distance des objets ces points de réunion tombent sur la rétine, ceux des objets plus éloignés tombent dedans l'œil avant la rétine, et ceux des objets plus proches tomberaient derrière l'œil. L'un et l'autre cas causerait une confusion dans l'image dépeinte sur la rétine. Les yeux de chaque homme sont donc arrangés pour une certaine distance. Quelques-uns ne voient distinctement que les objets fort proches de leurs yeux, ces gens sont nommés *myopes*, on dit qu'ils ont la vue courte ; d'autres, qu'on nomment *presbytes*, ne voient distinctement que les objets fort éloignés, et ceux qui voient distinctement les objets médiocres éloignés ont la vue bonne. Cependant, chaque espèce peut tant soit peu, par quelque compression, raccourcir ou allonger les yeux, et, par ce moyen, ou approcher ou éloigner la rétine ; ce qui les met en état de voir aussi distinctement les objets qui sont un peu plus ou moins éloignés ; et c'est aussi un grand secours pour rendre nos yeux plus parfaits, qu'onne saurait assurément attribuer à un pur hasard. Ceux qui ont la vue bonne en retirent le plus grand profit, vu qu'ils sont en état de voir distinctement les choses fort éloignées et fort proches ; cependant cela ne va pas au delà d'un certain terme, et il n'y a peut-être personne qui puisse voir à une distance d'un pouce, ou même encore plus petite. Si Votre Altesse tenait une écriture si près devant les yeux, elle n'en verrait les caractères que très-confusément. Mais je crois avoir suffisamment entretenu Votre Altesse de cette importante matière.

21 août 1760.

LETTRE XLV.

Sur la gravité ou pesanteur, considérée comme une propriété générale de tous les corps que nous connaissons.

Après tout ce que j'ai dit ci-devant sur la lumière et les rayons, j'aurai l'honneur d'entretenir Votre Altesse d'une propriété générale de tous les corps que nous connaissons; c'est celle de la gravité ou pesanteur. On remarque que tous les corps, tant solides que fluides, tombent en bas dès qu'ils ne sont plus soutenus. Quand je tiens une pierre dans la main et que je la lâche, elle tombe à terre et tomberait encore plus loin s'il y avait un trou dans la terre. Dans le temps même que j'écris ceci, mon papier tomberait à terre s'il n'était soutenu par ma table. La même chose arrive à tous les corps que nous connaissons, il n'en est aucun qui ne tombe à terre dès qu'il n'est plus soutenu ou arrêté. La cause de ce phénomène ou de ce penchant qui se trouve dans tous les corps est nommée leur *gravité* ou leur *pesanteur*. Quand on dit que tous les corps sont graves on entend qu'ils ont un penchant à tomber, et qu'ils tomberont tous en effet dès qu'on ôtera ce qui les a soutenus jusqu'ici. Les anciens n'ont pas assez connu cette propriété. Ils ont cru qu'il y avait aussi des corps qui, par leur nature, montent en haut, comme nous le voyons dans la fumée et les vapeurs, qui, au lieu de descendre, montent plutôt en haut; et ils ont nommé ces corps *légers*, pour les distinguer des autres qui ont un penchant à tomber. Mais, dans ces derniers temps, on a reconnu que c'est l'air qui pousse cette matière en haut; car, dans un espace vide d'air, qu'on fait par le moyen de la machine pneumatique, la fumée et les vapeurs descendent aussi bien qu'une pierre : d'où il suit que ces matières sont par leur nature aussi bien graves et pesantes que les autres. Or, quand elles montent dans l'air, il leur arrive la même chose que lorsque, enfonçant du bois sous l'eau, nonobstant sa pesanteur, il remonte en haut et nage sur l'eau dès que je l'abandonne. La raison en est que le bois est moins pesant que l'eau; et c'est une règle générale que tous les corps montent dans un fluide qui est plus pesant qu'eux. Dans un vase rempli de vif-argent, si l'on jette quelques morceaux de fer, de cuivre, d'argent et même de plomb, ils y surnagent, et, y étant submergés, ils remontent d'eux-mêmes; l'or seul y tombe au fond, parce qu'il est plus pesant que le vif-argent. Donc, comme il y a des corps qui montent dans l'eau ou dans un autre fluide, nonobstant

leur gravité, et cela par la seule raison qu'ils sont moins pesants que l'eau ou autre fluide, il n'est pas surprenant que certains corps qui sont moins pesants que l'air, tels que la fumée ou les vapeurs, y montent. J'ai déjà eu l'honneur de faire remarquer à Votre Altesse que l'air lui-même est pesant, et que c'est par sa pesanteur qu'il soutient le mercure dans le baromètre. Ainsi, quand on dit que tous les corps sont pesants, il faut entendre que tous les corps, sans en excepter aucun, tomberaient en bas dans un espace vide d'air. Je pourrais même ajouter qu'ils y tombent avec une égale rapidité; car, sous une cloche de verre dont on pompe l'air, un ducat et une plume tombent avec une égale vitesse; mais c'est ce dont je parlerai plus amplement dans la suite. On pourrait objecter, contre cette propriété générale des corps, qu'une bombe lancée par un mortier ne tombe pas d'abord à terre comme une pierre que je laisserais tomber de ma main, mais qu'elle monte en haut : mais veut-on inférer de là que la bombe n'a point de pesanteur ? Il n'est que trop évident que c'est la force de la poudre qui pousse la bombe en haut, sans quoi elle tomberait sûrement à l'instant. Nous voyons même que la bombe ne monte pas toujours, mais que, dès que la force qui la pousse en haut cesse, la bombe tombe en effet et écrase tout ce qu'elle rencontre, ce qui est une preuve complète de sa pesanteur. Donc, quand on dit que tous les corps sont pesants, on ne nie pas qu'ils ne puissent être arrêtés ou même jetés en haut; mais cela se fait par des forces étrangères aux corps, et il demeure toujours certain que tout corps, quel qu'il soit, dès qu'il est abandonné à lui-même et en repos ou sans mouvement, tombe certainement aussitôt qu'il n'est plus soutenu. Sous ma chambre est une cave, mais mon plancher me soutient et m'empêche d'y tomber. Si mon plancher se pourrissait subitement et que la voûte de ma cave s'éboulât en même temps, je serais infailliblement bientôt précipité dans ma cave : cela vient de ce que mon corps est pesant, de même que tous les autres corps que nous connaissons. Je dis *que nous connaissons*, car peut-être y aurait-il des corps sans pesanteur, comme les corps des anges qui sont apparus autrefois; un tel corps ne tomberait pas, quand même on lui ôterait le plancher, et il marcherait aussi facilement en haut dans l'air qu'ici-bas sur la terre. Ces corps exceptés, que nous ne connaissons pas, la propriété générale de tous ceux que nous connaissons est la pesanteur, en vertu de laquelle ils ont tous un penchant à tomber, et tombent effectivement dès que rien ne s'oppose à leur chute.

23 août 1760.

LETTRE XLVI.

Continuation du même sujet, et en particulier sur la gravité spécifique.

Votre Altesse vient de voir que la gravité est une propriété générale de tous les corps que nous connaissons, et qu'elle consiste dans un penchant qui, par une force invisible, les pousse en bas. Les philosophes disputent beaucoup s'il est effectivement une telle force qui agisse d'une manière invisible sur les corps et les pousse en bas, ou si c'est plutôt une qualité interne renfermée dans la nature même de tous les corps et comme un instinct naturel qui les détermine à descendre. Cette question revient à celle-ci : si la cause de la pesanteur se trouve dans la nature même de chaque corps ou si elle existe hors d'eux, de sorte que, si elle venait à manquer, le corps cesserait d'être pesant? ou plus simplement encore : on demande si la cause de la pesanteur existe dans les corps ou hors d'eux? Or, avant que d'entrer dans cette dispute, il est nécessaire d'examiner plus soigneusement toutes les circonstances dont la pesanteur des corps est accompagnée. D'abord je remarque que lorsqu'on soutient un corps pour empêcher qu'il ne tombe actuellement, comme si l'on pose le corps sur une table, cette table éprouve la même force avec laquelle le corps voudrait tomber; et quand on attache le corps à un fil qu'on tient suspendu, le fil est tendu par la force qui pousse le corps en bas, c'est-à-dire par sa pesanteur : de sorte que si le fil n'était pas assez fort, il se déchirerait. De là nous voyons que tous les corps exercent une certaine force sur les obstacles qui les soutiennent et les empêchent de tomber, et que cette force est précisément la même que celle qui ferait tomber le corps s'il était libre. Quand on pose une pierre sur une table, cette table en est pressée. On n'a qu'à mettre la main entre la pierre et la table, et on sentira bien cette force, qui même est telle qu'elle pourrait bien devenir assez grande pour écraser la main. Cette force est nommée le *poids du corps*; et il est clair que le poids ou la pesanteur de chaque corps signifient la même chose, l'un et l'autre marquant la force dont le corps est poussé en bas, soit que cette force existe dans le corps même ou hors de lui. Nous avons une idée trop claire du poids des corps pour qu'il soit nécessaire de m'y arrêter davantage; je remarque seulement que, lorsqu'on joint deux corps ensemble, leurs poids sont aussi ajoutés, de sorte que le poids du composé est égal à la

somme des poids des parties : d'où nous voyons que les poids des corps peuvent être fort différents entre eux. Nous avons même un moyen très-sûr de comparer les poids des corps entre eux et de les mesurer exactement : cela se fait à l'aide d'une balance, qui a cette propriété que, lorsque les corps mis dans ses deux bassins sont également pesants, la balance se trouve en équilibre. Pour réussir dans cette comparaison, on établit ici une mesure fixe, qui est un certain poids, comme par exemple une livre; et, moyennant une bonne balance, on peut peser tous les corps et assigner à chacun le nombre de livres que leur poids contient. Si un corps est trop grand pour être mis dans un bassin de la balance, on le partage; et ayant pesé chacune des parties, on n'a qu'à ajouter ensemble les poids. De cette manière on pourrait trouver le poids d'une maison tout entière, quelque grande qu'elle fût.

Votre Altesse aura déjà remarqué qu'un petit morceau d'or pèse autant qu'un morceau de bois beaucoup plus grand : d'où l'on voit que les poids des corps ne se règlent pas toujours sur leurs grandeurs, un corps très-petit pouvant être d'un grand poids pendant qu'un autre très-grand pèserait très-peu. Chaque corps est donc susceptible de deux mesures tout à fait différentes. Par l'une, on détermine sa grandeur ou son étendue, qu'on nomme aussi son volume; et cette mesure appartient à la géométrie, où l'on enseigne la manière de mesurer la grandeur ou l'étendue du corps. Mais l'autre manière de mesurer les corps, par laquelle on définit leur poids, est tout à fait différente; et c'est par là qu'on distingue la nature des différentes matières dont les corps sont formés. Que Votre Altesse conçoive plusieurs masses de différentes matières qui toutes soient de la même grandeur ou étendue; que chacune, par exemple, ait la figure d'un cube dont la longueur, la largeur et la hauteur soient d'un pied. Un tel volume, s'il était d'or, pèserait 1330 livres; s'il était d'argent, il pèserait 770 livres; s'il était de fer, il pèserait 500 livres; s'il était d'eau, il ne pèserait que 70 livres; et s'il était d'air, il ne pèserait que la douzième partie d'une livre : d'où Votre Altesse voit que les différentes matières dont les corps sont composés forment une différence très-considérable par rapport à leur pesanteur. Pour exprimer cette différence, on emploie certains termes qui pourraient paraître équivoques si on ne les entendait pas bien. Ainsi quand on dit, par exemple, que l'or est plus pesant que l'argent, il ne faut pas entendre qu'une livre d'or soit plus pesante qu'une livre d'argent; car une livre, de quelque matière qu'elle soit, est toujours une livre et a précisément toujours le même poids : mais le sens est qu'ayant deux

morceaux de la même grandeur, l'un d'or et l'autre d'argent, le poids d'or sera plus grand que celui d'argent. De même, quand on dit que l'or est 19 fois plus pesant que l'eau, le sens est qu'ayant deux volumes égaux, l'un d'or et l'autre d'eau, celui qui est d'or aura un poids 19 fois plus grand que celui d'eau. Dans cette manière de parler on ne dit rien du poids absolu des corps, mais on n'en parle que par comparaison, en se rapportant toujours à des volumes égaux. Il n'importe pas même si ces volumes sont grands ou petits, pourvu qu'ils soient égaux.

25 août 1760.

LETTRE XLVII.

Sur quelques termes et mots relatifs à la pesanteur des corps, et sur le vrai sens qu'on doit leur donner.

La gravité ou la pesanteur nous paraît si essentielle à la nature des corps, qu'il est presque impossible de concevoir l'idée d'un corps qui ne serait point pesant. Cette qualité entre aussi si généralement dans toutes nos entreprises, que partout il faut avoir égard à la pesanteur ou au poids des corps. Nous-mêmes, soit que nous soyons debout, ou assis, ou couchés, nous sentons continuellement l'effet de la pesanteur de notre propre corps; nous ne tomberions jamais, si notre corps et toutes ses parties n'étaient pas pesantes ou douées de ce penchant qui les porte à tomber en bas dès qu'elles ne sont plus soutenues. Notre langage même est réglé sur cette propriété des corps, et nous nommons *en bas* la pente vers laquelle ce penchant des corps est dirigé. Ce mot n'a pas d'autre signification; et si ce penchant tendait vers une autre direction, nous nommerions cette autre direction *en bas*. De même nous nommons la direction opposée à celle-ci *en haut* : où il faut remarquer que, lorsqu'on laisse tomber librement un corps, il descend toujours par une ligne droite suivant laquelle on dit qu'il est dirigé en bas. Cette ligne est aussi nommée *verticale*, qui est par conséquent toujours une ligne droite tirée de haut en bas; et si nous concevons cette ligne prolongée en haut jusqu'au ciel, nous nommons ce point du ciel notre *zénith*, qui est un mot arabe et signifie le point du ciel qui est directement au-dessus de notre tête. De là Votre Altesse comprend ce que c'est qu'une ligne verticale : c'est cette ligne droite par laquelle un corps tombe dès qu'il n'est plus soutenu. Quand on attache un corps à un fil qu'on tient ferme par l'autre

bout, ce fil étant en repos sera tendu en ligne droite, qui sera aussi la ligne verticale. C'est ainsi que les maçons se servent d'un fil chargé d'une boule de plomb, que par cette raison ils nomment un *aplomb*, lorsqu'ils élèvent des murailles qui doivent être verticales, afin qu'elles ne tombent point.

Tous les planchers d'une maison doivent être tellement dressés que la ligne verticale y soit perpendiculaire; et alors on dit que le plancher est *horizontal :* d'où Votre Altesse comprend qu'un plan horizontal est toujours celui auquel la ligne verticale est perpendiculaire. Quand on est dans une plaine parfaite qui n'est bornée par aucune montagne, les extrémités s'en nomment l'*horizon,* qui est un mot grec, lequel marque le terme de notre vue; et cette plaine alors représente un plan horizontal, de même que la surface d'un lac. On se sert aussi d'un autre terme pour désigner ce qui est horizontal : on dit qu'une telle surface ou ligne est à son *niveau.* On dit aussi que deux points sont à niveau lorsque la ligne droite qui passe par les deux points est horizontale, de sorte que la ligne verticale ou la ligne à plomb y soit perpendiculaire. Mais deux points ne sont pas à niveau lorsque la ligne droite tirée par ces points n'est pas horizontale. Alors l'un de ces deux points est plus élevé que l'autre. Cela a lieu dans les rivières dont la surface a une pente; car si elle était horizontale, la rivière serait en repos et ne coulerait point, puisque toutes les rivières coulent toujours vers les lieux moins élevés. On a des instruments par le moyen desquels on peut découvrir si les deux points sont à niveau, ou si l'un est plus élevé que l'autre et de combien. On appelle cet instrument simplement un *niveau*; et l'art de s'en servir, l'*art de niveler.* Si Votre Altesse voulait faire tirer une ligne droite d'un point de son appartement à Berlin à un point pris dans son appartement à Magdebourg, on pourrait, par le moyen de cet instrument, trouver si cette ligne serait horizontale ou si l'un des deux points serait plus ou moins élevé que l'autre. Je crois que le point de Berlin serait plus élevé que celui de Magdebourg. Je fonde ce sentiment sur le cours des rivières de la Sprée, de la Havel et de l'Elbe. Puisque la Sprée coule dans la Havel, il faut que la Havel soit plus basse que la Sprée; et, par la même raison, l'Elbe doit être plus basse que la Havel : d'où il suit que Berlin est plus élevé que Magdebourg, c'est-à-dire au rez-de-chaussée; car si l'on tirait une ligne droite du rez-de-chaussée de Berlin au sommet du clocher de Dohm de Magdebourg, peut-être cette ligne serait-elle horizontale.

De là Votre Altesse peut comprendre aussi combien est utile

l'art de niveler lorsqu'il s'agit de la conduite des eaux; car, puisque l'eau ne saurait couler que d'un lieu plus élevé vers un lieu qui l'est moins, avant de creuser le canal par lequel on veut que l'eau coule, il faut être bien assuré qu'une extrémité est plus élevée que l'autre, ce qu'on connaîtra par le nivellement. En bâtissant même une ville, il faut arranger les rues de sorte qu'elles aient une pente vers un côté, afin que l'eau s'écoule. Il n'en est pas ainsi dans les bâtiments, où l'on veut que les planchers des appartements soient parfaitement de niveau et n'aient aucune pente, parce qu'il ne s'y agit point de faire écouler l'eau, à moins que ce ne soit dans les écuries, où l'on donne une pente aux planchers. Les astronomes sont aussi fort attentifs sur les planchers de leurs observatoires, qui doivent être parfaitement au niveau, afin de répondre à l'horizon réel qu'on voit au ciel, la ligne verticale prolongée en haut lui marquant son zénith.

27 août 1760.

LETTRE XLVIII.

Réponse à quelques objections qu'on fait contre la figure sphérique de la terre, et qui sont tirées de la pesanteur.

Votre Altesse n'ignore pas que la terre tout entière a à peu près la figure d'un globe; car, quoique dans ces derniers temps on ait découvert que cette figure n'est pas parfaitement sphérique, mais aplatie tant soit peu vers les pôles, la différence est si petite, qu'elle n'est d'aucune conséquence pour le dessein que j'ai en vue. Aussi les montagnes et vallées ne troublent pas beaucoup cette figure sphérique, le globe étant si grand que son diamètre est de 1,720 milles d'Allemagne, pendant que la hauteur des plus hautes montagnes excède à peine un demi-mille.

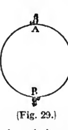
Les anciens ont fort peu connu la véritable figure de la terre. La plupart l'ont regardée comme une grande masse ABCD (*fig.* 28), aplatie par-dessus AB, et couverte en partie de terre, et en partie d'eau. Selon eux, cette seule surface AB était habitable; et il était impossible d'aller au delà de A et B, qu'ils ont regardés comme les termes du monde. Lorsque ensuite on a été convaincu que la figure de la terre était à peu près sphérique, et partout



(Fig. 28.)

habitable, de sorte qu'il y avait des endroits qui nous étaient directement opposés, où les habitants tournaient les pieds vers les nôtres; c'est de là qu'on les nomme *antipodes*. Ce sentiment éprouva des contradictions telles que quelques Pères de l'Église le regardèrent comme une grande hérésie, et prononcèrent anathème contre ceux qui croyaient l'existence des antipodes. Aujourd'hui néanmoins on passerait pour sot si l'on voulait douter de leur existence, depuis surtout que ce sentiment a été confirmé par les voyageurs qui ont déjà fait plusieurs fois le tour de la terre. Mais on rencontre cependant encore dans ce système bien des difficultés qu'il est fort important de lever.

Car si le cercle (*fig.* 29) représente toute la terre, et que nous soyons en A, nos antipodes se trouveront diamétralement opposés à nous en B. Donc, puisque nous avons la tête en haut et les pieds en bas, il faut que nos antipodes aient les pieds en haut et la tête en bas: ce qui paraît fort étrange; car ceux qui ont fait le tour de la terre ne s'en sont pas aperçus dans leurs voyages, et ne se souviennent point d'avoir jamais eu la tête en bas et les pieds en haut. Or, si l'antipode en B avait la tête en haut et les pieds en bas, il toucherait la terre de sa tête, et marcherait avec la tête. Dans l'embarras que cause ce phénomène, quelques-uns prétendent l'expliquer par un globe sur la surface duquel on voit souvent marcher des mouches ou d'autres insectes, tant en haut qu'en bas; mais ils ne considèrent pas que les insectes qui sont en bas s'y accrochent par leurs ongles, et qu'ils tomberaient bientôt en bas sans ce secours. D'ailleurs il faudrait que l'antipode eût des crochets à ses souliers, pour s'accrocher à la terre; cependant, quoiqu'il n'en ait point, il ne tombe pas plus que nous. En outre, comme nous nous imaginons d'être sur le haut de la terre, l'antipode s'y croit également, et s'imagine que nous sommes en bas. Il est peut-être même aussi en peine pour nous que nous le sommes pour lui, et ne peut pas concevoir comment nous, ayant, à ce qu'il pense, les pieds en haut et la tête en bas, pouvons vivre et marcher sans avoir des crochets forts à nos souliers. Si quelqu'un, en effet, voulait s'accrocher au plafond d'une salle avec les pieds, et laisser pendre sa tête en bas, il faudrait que les crochets de ses souliers fussent bien forts, et malgré cela il ferait une bien triste figure. Je ne voudrais pas être à sa place, car je craindrais trop de me casser le cou, ou du moins le sang qui me coulerait dans la tête me causerait bien du mal. J'aimerais mieux alors aller plutôt dans



(Fig. 29.)

le pays de nos antipodes, parce que je serais assuré d'y être aussi bien qu'ici, et que je ne craindrais pas d'y passer si mal mon temps que si j'étais attaché par les pieds à quelque plafond. Je suis cependant trop vieux pour entreprendre un tel voyage, qui serait au moins de 2,700 milles d'Allemagne. Mais le pauvre antipode, pour lequel on est tant en peine, de peur qu'il ne tombe en cas que les crochets de ses pieds vinssent à manquer, où tomberait-il si le cas arrivait? On répondrait sans doute qu'il tomberait *en bas*; mais cet *en bas* s'éloignerait de plus en plus de la terre, et l'antipode serait bien à plaindre, puisqu'il ne trouverait plus où mettre ses pieds, et qu'il continuerait de tomber peut-être éternellement. Cette crainte cependant n'a aucun fondement, et jamais on n'a encore entendu que nos antipodes aient fait une si terrible chute en s'éloignant de plus en plus de la terre; au contraire, quand ils tombent, ils tombent comme nous, en s'approchant de la terre, et encore s'imaginent-ils qu'ils tombent alors en bas. Ce n'est donc qu'une illusion de croire que nos antipodes ont les pieds en haut et la tête en bas, et de nous les figurer comme dans une situation renversée. Cette illusion ne vient que d'une fausse idée que nous nous attachons aux termes *en bas* et *en haut*. Partout où nous trouvons sur la terre, c'est l'*en-bas* vers lequel les corps tombent, et l'*en-haut* lui est contraire. C'est ainsi que j'ai déjà déterminé le sens de ces termes dans ma lettre précédente, et je crois que cette idée vaut bien la peine d'être plus exactement développée, afin de pouvoir répondre à toutes les objections qu'on fait à l'égard des antipodes, quoique je ne croie pas que Votre Altesse se soit beaucoup mise en peine pour eux,

28 août 1760.

LETTRE XLIX.

Sur la vraie direction et sur l'action de la gravité relative à la terre.

Quoique la surface de la terre soit raboteuse, à cause des montagnes et des vallées qui s'y trouvent, elle est cependant parfaitement aplanie partout où il y a de la mer, puisque la surface de l'eau est toujours horizontale, et que la ligne verticale suivant laquelle les corps tombent lui est perpendiculaire. Donc, si toute la terre était couverte d'eau, en quelque lieu de la terre qu'on se trouvât, la ligne verticale serait perpendiculaire à la surface de l'eau.

Ainsi, quand la figure ABCDEFGHI (*fig.* 30) représente la terre, sa surface étant partout horizontale, au lieu A la ligne *a*A sera verticale, au lieu B la ligne *b*B, au lieu C la ligne *c*C, au lieu D la ligne *d*D, au lieu F la ligne *f*F, et ainsi de suite. Or, en chaque lieu, la ligne verticale détermine ce qu'on y nomme l'*en-bas* et l'*en-haut:* donc pour ceux qui sont en A le point A sera en bas, et le point *a* en haut; et pour ceux qui sont en F, le point F sera en bas, et le point *f* en haut, et ainsi de tous les autres lieux de la terre. Toutes ces lignes verticales *a*A, *b*B, *c*C, *d*D, etc., sont nommées aussi les directions de la gravité ou de la pesanteur, puisque partout les corps tombent suivant ces lignes, de sorte qu'un corps lâché en *g* tomberait par la ligne *g*G; d'où l'on voit que partout les corps doivent tomber vers la terre, et cela perpendiculairement à la surface de la terre, ou plutôt de l'eau, s'il y en avait. Donc aussi, en quelque lieu de la terre qu'on puisse se trouver, puisque les corps y tombent vers la terre, ce qu'on y nomme *en bas* sera dirigé vers la terre, et ce qui s'éloigne de la terre est nommé *en haut;* et partout les hommes ayant les pieds posés à terre, leurs pieds seront en bas et leurs têtes en haut. On voit donc que nos antipodes se trouvent dans la même condition que nous, et que nous aurions grand tort de leur reprocher d'avoir les pieds en haut et la tête en bas; car partout, vers la terre, c'est toujours en bas et le contraire en haut. Si la terre était un globe parfait, toutes les lignes verticales *a*A, *b*B, *c*C, etc., étant prolongées en dedans, concourraient au centre du globe O, qu'on nomme le centre de la terre; et c'est pourquoi l'on dit que partout les corps ont un penchant à s'approcher du centre de la terre : ainsi, en quelque endroit qu'on se trouve, si l'on demande ce qui est en bas, on répondra que c'est ce qui tend vers le centre de la terre. En effet, si l'on creusait un trou dans la terre en quelque lieu que ce soit, et qu'on continuât sans cesse ce travail en creusant toujours en bas, on parviendrait enfin au centre de la terre. Votre Altesse se souviendra que M. *** s'est souvent moqué de ce trou qui va jusqu'au centre de la terre, dont M. de Maupertuis avait parlé. Il est bien vrai qu'un tel trou ne saurait jamais être exécuté, parce qu'il faudrait creuser à la profondeur de 860 milles d'Allemagne; cependant il est permis d'en faire la supposition, pour rechercher ce qui arriverait alors.

Fig. 30.

Supposons donc que ce trou creusé en A (*fig.* 31) soit continué

au delà du centre de la terre O par toute l'épaisseur de la terre jusqu'à nos antipodes B, et que nous descendions par ce trou. Avant d'arriver au centre O, et étant par exemple parvenus en E, le centre de la terre O nous paraîtra au-dessous, et le point A en haut; et si nous ne nous tenions bien fermes, nous tomberions vers O. Mais ayant passé au delà du centre O, par exemple en F, notre pesanteur tendrait vers O, et ce point O et à plus forte raison le point A nous paraîtraient en bas, et le point B en haut : ainsi ces termes d'en haut et d'en bas changeraient subitement de signification, quoique nous passassions par une ligne droite de A vers B. Tant que nous sommes à passer de A en O, nous descendons; mais en passant de O vers B, nous montons effectivement, puisque nous nous éloignons du centre, notre propre pesanteur étant toujours dirigée vers le centre de la terre; de sorte que si nous tombions, soit en E ou en F, nous tomberions toujours vers le centre de la terre. Notre antipode en B, qui voudrait passer par le trou de B en A, se trouverait précisément dans le même cas; depuis B jusqu'au centre O, il serait obligé de descendre; mais depuis O jusqu'en A il faudrait qu'il montât. Ces considérations nous conduisent à établir, sur la gravité ou la pesanteur des corps, cette idée, que la gravité ou la pesanteur est une force avec laquelle tous les corps sont poussés vers le centre de la terre. Le même corps qui étant en A est poussé selon la direction AO, lorsqu'il est transporté en B, sera poussé par la gravité suivant la direction BO, qui est contraire à la première. Partout donc c'est sur la direction de la gravité que le langage règle la signification des termes *en bas* et *en haut; descendre* ou *monter* : puisque la gravité ou la pesanteur des corps a une influence très-essentielle sur toutes nos entreprises, et que même nos propres corps en sont animés, de sorte que nous en éprouvons partout les effets.



Fig. 31.

29 août 1760.

LETTRE L.

Sur la différente action de la gravité, en particulier à l'égard des différentes contrées et distances au centre de la terre.

Votre Altesse est maintenant éclaircie sur un grand article qui concerne l'action de la gravité, savoir : que tous les corps qui se

trouvent sur la terre sont partout poussés, par leur gravité ou pesanteur, directement vers le centre de la terre, ou bien perpendiculairement sur la surface de la terre, ce qu'on nomme la direction de la force de la gravité. On a raison de nommer la pesanteur des corps une *force,* attendu que tout ce qui est capable de mettre un corps en mouvement est appelé force. C'est ainsi qu'on attribue une force aux chevaux, puisqu'ils peuvent traîner un chariot; et aussi au courant d'une rivière, ou au vent, puisque, par leur moyen, les moulins peuvent être mis en mouvement. Il n'y a donc point de doute que la pesanteur ne soit une force, puisqu'elle fait tomber les corps; aussi sentons-nous l'effet de cette force par la pression que nous éprouvons en portant un fardeau. Or, dans toute force il y a deux choses à considérer : premièrement, la direction suivant laquelle elle agit ou pousse les corps, et ensuite la véritable grandeur de chaque force. Quant à la pesanteur, nous sommes suffisamment éclaircis sur sa direction, sachant que les corps en sont toujours poussés vers le centre de la terre, ou perpendiculairement à sa surface. Il reste donc à examiner la grandeur de cette force qui rend les corps pesants. Cette force est toujours déterminée par le poids de chaque corps; et comme les corps diffèrent beaucoup par rapport à leur poids, ceux qui sont plus pesants sont aussi poussés avec plus de force en bas, et le poids de chaque corps est toujours la juste mesure de la force avec laquelle il est poussé en bas, c'est-à-dire de sa pesanteur. Or, on demande si le même corps, étant transporté dans d'autres lieux de la terre, conserve toujours le même poids? Je parle des corps qui ne perdent rien par évaporation ou exhalaison. Par des expériences très-certaines, on a été convaincu que le même corps, étant transporté vers l'équateur, devient tant soit peu moins pesant que si on le transportait vers les pôles de la terre. Votre Altesse comprend aisément qu'on ne saurait découvrir cette différence par la meilleure balance, car les poids dont on se sert pour peser les corps sont assujettis à la même variation. Ainsi un poids qui pèserait ici 100 livres, étant transporté sous l'équateur, aura bien encore le nom de 100 livres, mais son effort à tomber sera un peu moindre qu'ici. On a reconnu cette variation par l'effet même de la force de pesanteur, qui est la chute; et on a remarqué que le même corps, sous l'équateur, ne tombe pas si vite qu'ici. Il est donc certain que le même corps, étant transporté à différents lieux de la terre, souffre quelque petit changement dans son poids. Maintenant rentrons dans le trou fait au travers de la terre par son centre, et il est clair qu'un corps étant mis dans le centre même y doit perdre toute sa pesanteur ou

son poids, puisqu'il n'aurait plus aucun penchant a se mouvoir, vu que partout ailleurs son penchant est dirigé vers le centre de la terre. Donc, parce qu'un corps au centre de la terre n'a plus de poids, il s'ensuit qu'en descendant à ce centre, son poids sera successivement diminué; d'où l'on conclut qu'un corps, en pénétrant dans les entrailles de la terre, perd de son poids à mesure qu'il approche du centre. Votre Altesse peut donc comprendre que la pesanteur n'est pas si nécessairement liée avec la nature de chaque corps qu'il le semble au premier coup d'œil, puisque non-seulement sa grandeur peut varier, mais aussi sa direction, qui, en passant aux antipodes, devient même contraire.

Après avoir fait en idée le voyage jusqu'au centre de la terre, revenons à sa surface et montons même sur les plus hautes montagnes. Or nous n'y remarquerons aucun changement sensible dans la pesanteur des corps, quoiqu'on ait des raisons assez fortes pour se persuader que le poids d'un corps doit diminuer à mesure qu'on l'éloigne de la terre. En effet, on n'a qu'à s'imaginer qu'un corps, étant de plus en plus éloigné de la terre, parvienne, par exemple, enfin jusqu'au soleil, ou même jusqu'à quelque étoile fixe; et il serait ridicule de prétendre que ce corps retomberait sur la terre, puisque toute la terre n'est presque rien par rapport à ces vastes corps célestes. On doit donc conclure de là qu'un corps, en s'éloignant de la terre, doit souffrir une diminution dans sa pesanteur, qui deviendra de plus en plus petite jusqu'à ce qu'elle s'évanouisse enfin tout à fait. Cependant il y a des raisons qui nous convainquent qu'en éloignant un corps jusqu'à la distance de la lune il y aurait encore quelque poids, mais qui serait environ 3600 fois plus petit que celui qu'il a sur la terre. Concevons que ce corps pèserait sur la terre 3600 livres, personne assurément ne serait capable de le soutenir ici; mais qu'on l'éloigne jusqu'à la distance de la lune, et je m'engage de l'y soutenir avec un doigt; car il ne pèsera plus là qu'une livre, et encore plus loin il pèserait encore moins. Nous connaissons donc que la gravité est une force qui pousse tous les corps vers le centre de la terre; que cette force agit le plus vigoureusement à la surface de la terre, et qu'elle diminue lorsqu'on s'éloigne de cette surface, tant en pénétrant en dedans vers le centre qu'en montant en haut. J'aurai encore plusieurs choses à dire sur ce sujet à Votre Altesse.

30 août 1760.

LETTRE LI.

Sur la gravité de la lune.

Votre Altesse vient de voir qu'un corps étant élevé de la terre jusqu'à la hauteur de la lune n'y aurait plus que la 3600e partie de son poids, ou bien qu'il y serait poussé vers le centre de la terre avec une force 3600 fois plus petite que celle qu'il éprouve ici-bas. Cependant cette force suffirait pour le faire tomber sur la terre dès qu'il ne serait plus soutenu. Il est bien vrai qu'on ne saurait s'en convaincre par aucune expérience, nous sommes trop attachés à la terre pour pouvoir nous élever si haut; mais il y a néanmoins un corps à cette hauteur, c'est la lune. Elle devrait donc bien sentir cet effet de gravité, et nous ne voyons cependant pas que la lune tombe sur la terre. Je réponds à cela que si la lune était en repos, elle tomberait infailliblement; mais comme elle est portée d'un mouvement extrêmement rapide, c'est précisément cette raison qui l'empêche de tomber. Des expériences faites ici-bas sur la terre peuvent nous convaincre de la solidité de cette réponse. Une pierre lâchée de la main, sans lui imprimer aucun mouvement, tombe d'abord, et cela par une ligne droite, savoir, la verticale; mais si l'on jette cette pierre en lui imprimant un mouvement à côté, elle ne tombe plus directement en bas; elle se meut par une ligne courbe avant que d'atteindre la terre; et cela arrivera d'autant plus qu'on lui aura imprimé plus de vitesse. Un boulet de canon, tiré selon une direction horizontale, ne parvient à la terre que fort loin; et si on le tirait sur une haute montagne, il parcourrait peut-être plusieurs milles avant que d'arriver à la terre. Qu'on hausse encore davantage le canon et qu'on augmente la force de la poudre, et le boulet alors sera porté beaucoup plus loin. On pourrait pousser la chose si loin que le boulet ne tomberait que chez nos antipodes; et, en la poussant encore plus loin, il pourrait arriver que le boulet ne tomberait plus du tout, mais qu'il retournerait à l'endroit où il aurait été tiré, et ferait ainsi un nouveau tour du monde; ce serait une petite lune qui ferait ses révolutions, de même que la véritable, autour de la terre. Que Votre Altesse daigne à présent réfléchir sur la grande hauteur où la lune se trouve, et la prodigieuse vitesse dont elle est portée. Elle ne sera plus surprise alors que la lune ne tombe pas à terre, quoiqu'elle soit poussée

par la gravité vers son centre. Une autre réflexion mettra cela dans un plus grand jour. Nous n'avons qu'à bien considérer le chemin qu'une pierre jetée obliquement, ou un boulet de canon, décrit. Le chemin est toujours une ligne courbe, telle que représente la *fig*. 32.

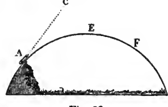


Fig. 32.

A est le sommet d'une montagne où le boulet de canon a été tiré, lequel, ayant parcouru le chemin AEFB, tombe à terre en B, et ce chemin est une ligne courbe. Sur cela je remarque d'abord que si le boulet n'était pesant, c'est-à-dire s'il n'était pas poussé vers la terre, il n'y tomberait pas quand même on le lâcherait librement, puisque la pesanteur est la seule cause de sa chute. Donc, à plus forte raison, étant tiré en A, comme la figure le représente, il ne tomberait jamais à terre; d'où nous apprenons que c'est la pesanteur qui fait enfin tomber le boulet, et qui lui fait décrire la ligne courbe AEFB. Nous apprenons donc par là que la pesanteur est la cause de la courbure du chemin AEFB que le boulet parcourt; d'où je conclus que, s'il n'y avait point de pesanteur, le boulet ne décrirait pas une ligne courbe. Mais une ligne qui n'est pas courbe est nécessairement droite ; donc, si le boulet n'était pas poussé vers la terre par sa pesanteur, il s'en irait par la ligne droite ponctuée AC, suivant laquelle il aurait été tiré. Cela posé, considérons la lune, qui ne se meut pas assurément selon une ligne droite; puisqu'elle se tient toujours à peu près à la même distance de nous, il faut bien que son chemin soit courbe, et à peu près semblable à un cercle qu'on décrirait autour de la terre à la distance de la lune. On est maintenant en droit de demander pourquoi la lune ne se meut point en ligne droite? et la réponse ne sera pas difficile. Car, ayant vu que la pesanteur est la cause de la courbure du chemin qu'une pierre jetée ou un boulet de canon tiré décrit, il est très-raisonnable de soutenir que la pesanteur agit aussi sur la lune en la poussant vers la terre, et que cette même pesanteur cause la courbure du mouvement de la lune. La lune est donc pesante et a un certain poids, donc elle est poussée vers la terre; mais ce poids est 3600 fois plus petit que si la lune se trouvait à la surface de la terre. Or, ceci n'est pas seulement une conjecture assez probable; on peut même assurer que c'est une vérité démontrée; car, en supposant cette pesanteur, on est en état de déterminer, par les principes les plus solidement établis dans les mathématiques, le mou-

vement que la lune devrait suivre; et ce mouvement se trouve exactement d'accord avec le vrai mouvement de la lune, ce qui fait la preuve la plus certaine.

1er septembre 1760.

LETTRE LII.

Sur la découverte de la gravitation universelle faite par le grand Newton.

La pesanteur ou gravité est donc une propriété de tous les corps terrestres et de la lune même. C'est la pesanteur par laquelle la lune est poussée vers la terre, qui modère son mouvement de la manière que la pesanteur modère le mouvement d'un boulet de canon ou d'une pierre jetée de la main. Nous sommes redevables de cette importante découverte à feu M. Newton. Ce grand philosophe et mathématicien anglais se trouvant un jour couché dans un jardin, sous un pommier, une pomme lui tomba sur la tête, et lui fournit l'occasion de faire plusieurs réflexions. Il conçut bien que c'était la pesanteur qui avait fait tomber la pomme, après qu'elle eut été dégagée de la branche, peut-être par le vent ou quelque autre cause. Cette idée paraissait fort naturelle, et tout paysan aurait peut-être fait la même réflexion; mais le philosophe anglais allait plus loin. Il faut, dit-il, que l'arbre ait été fort haut; et c'est ce qui lui fit former la question si la pomme serait aussi tombée en bas dans le cas où l'arbre aurait encore été beaucoup plus haut, ce dont il ne pouvait pas douter.

Mais si l'arbre avait été si haut qu'il parvînt jusqu'à la lune, il se trouva embarrassé de décider si la pomme tomberait ou non. En cas qu'elle tombât, ce qui lui paraissait pourtant fort vraisemblable, puisqu'on ne saurait concevoir un terme, dans la hauteur de l'arbre, où la pomme cesserait de tomber; dans ce cas il faudrait que la pomme eût encore quelque pesanteur qui la pousserait vers la terre : donc, parce que la lune se trouverait au même endroit, il faudrait qu'elle fût poussée vers la terre par une force semblable à celle de la pomme. Cependant, comme la lune ne lui tomba point sur la tête, il comprit que le mouvement en pourrait être la cause, de la même manière qu'une bombe peut passer au-dessus de nous sans tomber verticalement en bas. Cette comparaison du mouvement de la lune avec celui d'une bombe le détermina à examiner plus attentivement la chose, et, aidé des secours de la plus sublime

géométrie, il trouva que la lune suivait dans son mouvement les mêmes règles qu'on observe dans le mouvement d'une bombe; de sorte que s'il était possible de jeter une bombe à la hauteur de la lune et avec la même vitesse, la bombe aurait le même mouvement que la lune. Il a seulement remarqué cette différence, que la pesanteur de la bombe à cette distance de la terre serait beaucoup plus petite qu'ici-bas. Votre Altesse verra, par ce récit, que le commencement de ce raisonnement du philosophe était fort simple, et ne différait presque pas de celui d'un paysan; mais la suite s'est élevée infiniment au-dessus de la portée d'un paysan. C'est donc une propriété fort remarquable de la terre que tous les corps qui se trouvent, non-seulement dans la terre, mais aussi ceux qui en sont fort éloignés, jusqu'à la distance même de la lune, ont une force qui les pousse vers le centre de la terre; et cette force est la pesanteur, qui diminue à mesure que les corps s'éloignent de la surface de la terre. Le philosophe anglais ne s'arrêta pas là : comme il savait que les corps des planètes sont parfaitement semblables à la terre, il conclut qu'aux environs de chaque planète les corps qui s'y trouvent sont pesants, et que la direction de cette pesanteur tend vers le centre de la même planète. Cette pesanteur y serait peut-être plus ou moins grande que sur la terre, de manière qu'un corps d'un certain poids chez nous, étant transporté à la surface de quelque planète, y aurait un poids qui serait plus grand ou plus petit. Enfin cette force de gravité de chaque planète s'étend aussi à de grandes distances autour de chacune; et comme nous voyons que la planète de Jupiter a quatre satellites et celle de Saturne cinq [1], qui se meuvent autour d'eux comme la lune autour de la terre, on ne saurait douter que le mouvement des satellites de Jupiter ne soit modéré par leur pesanteur vers le centre de Jupiter, et celui des satellites de Saturne par leur pesanteur vers le centre de Saturne. Or, de la même manière que la lune se meut autour de la terre et les satellites autour de Jupiter ou de Saturne, toutes les planètes elles-mêmes se meuvent autour du soleil; d'où le même Newton a tiré cette fameuse conséquence que le soleil est doué d'une semblable propriété de pesanteur, et que tous les corps qui se trouvent aux environs du soleil y sont poussés vers le soleil par une force qu'on pourrait dire pesanteur solaire. Cette force s'étend fort loin tout autour du soleil et bien au delà de toutes les planètes, puisque c'est cette force de pesanteur qui modère leur mouvement. Ce même philosophe, par la force de son esprit, a trouvé le moyen de déterminer le mouvement des corps, lorsqu'on

1. Depuis Euler, on a découvert deux nouveaux satellites de Saturne.

connaît la force dont ils sont poussés ; donc, puisqu'il avait découvert les forces dont toutes les planètes sont poussées, il était en état de donner une juste description de leur mouvement. En effet, avant ce grand philosophe, on se trouvait dans une profonde ignorance sur le mouvement des corps célestes ; et ce n'est qu'à lui que nous sommes redevables des grandes lumières dont nous jouissons à présent dans l'astronomie. Votre Altesse sera bien surprise des grands progrès que toutes les sciences ont tirés d'un commencement qui parut d'abord fort simple et fort léger. Si Newton ne s'était pas couché dans un jardin sous un pommier, et que par hasard une pomme ne lui fût pas tombée sur la tête, peut-être nous nous trouverions dans la même ignorance sur le mouvement des corps célestes et sur une infinité d'autres phénomènes qui en dépendent. Cette matière mérite donc tout à fait l'attention de Votre Altesse, et je me flatte de l'entretenir dans la suite sur le même sujet.

3 septembre 1760.

LETTRE LIII.

Continuation sur l'attraction mutuelle des corps célestes.

Votre Altesse sent bien que le système de Newton doit avoir fait bien du bruit, et cela avec raison, puisque personne encore n'avait fait une si heureuse découverte, et qui répandait tant de lumière à la fois dans toutes les sciences. Il a été connu sous plusieurs noms qu'il est bon de remarquer, puisqu'on en entend parler assez souvent dans les discours. On le nomme le *système de la gravitation universelle*, parce que Newton soutient que, non-seulement la terre, mais en général tous les corps célestes, sont doués de cette propriété, que tous les corps y sont poussés par une force semblable à la pesanteur ou à la gravité, d'où le mot de gravitation a tiré son origine. Cependant cette force est tout à fait invisible, et nous ne voyons rien qui agisse sur les corps et qui les pousse vers la terre, encore moins vers les corps célestes. Nous remarquons un phénomène presque semblable dans l'aimant, vers lequel le fer et l'acier sont poussés sans que nous puissions voir la cause qui les y pousse. Quoiqu'on soit à présent assuré que cela se fait par une matière extrêmement subtile qui traverse les pores de l'aimant et du fer, cependant on peut dire que l'aimant attire le fer, et que le fer en est attiré, pourvu que cette manière de parler n'exclue point la véritable cause. De la même manière on pourra donc aussi

dire que la terre attire à soi tous les corps qui sont aux environs, même à de fort grandes distances; et on pourra regarder la pesanteur ou la gravité des corps comme l'effet de l'attraction de la terre, qui agit même sur la lune. Outre cela, le soleil et toutes les planètes sont doués d'une semblable vertu d'attraction par laquelle tous les corps y sont attirés. Suivant cette manière de parler, on dit que le soleil attire les planètes, et que Jupiter et Saturne attirent leurs satellites. De là le système de Newton est aussi nommé le *système de l'attraction*. Comme il n'y a aucun doute que les corps qui se trouvent fort près de la lune n'y soient aussi poussés par une force semblable à la pesanteur, on pourra dire que la lune attire aussi les corps voisins; et peut-être cette attraction de la lune s'étend-elle jusqu'à la terre, quoiqu'elle soit sans doute très-faible, tout comme nous avons vu que l'attraction de la terre sur la lune est très-considérablement affaiblie. Or le même philosophe a mis cela hors de doute, ayant fait voir que le flux et le reflux de la mer, dont j'aurai occasion de parler une autre fois, sont causés par l'attraction que la lune exerce sur les eaux de la mer. Par conséquent on ne saurait plus douter que les planètes de Jupiter et de Saturne ne soient réciproquement attirées par leurs satellites, et que le soleil même ne soit assujetti à l'attraction des planètes, quoique cette force soit extrêmement petite. C'est ce qui a fait naître le système de l'attraction générale, où l'on soutient avec raison que, non-seulement le soleil attire les planètes, mais qu'il est réciproquement attiré par chacune, et que même toutes les planètes exercent leur force attractive les unes sur les autres. Donc la terre n'est pas seulement attirée par le soleil, mais aussi par toutes les autres planètes, quoique la force de ces planètes soit presque insensible en comparaison de celle du soleil. Votre Altesse comprendra aisément que le mouvement d'une planète qui est attirée, non-seulement par le soleil, mais aussi tant soit peu par les autres planètes, doit être un peu différent de celui qu'elle aurait si elle n'était attirée que par le soleil, et conséquemment que les attractions des autres planètes y doivent causer quelque petit dérangement. Aussi tous ces dérangements se trouvent vérifiés par l'expérience; ce qui a porté ce système de l'attraction universelle au plus haut degré de certitude, de sorte que personne ne saurait plus douter de sa vérité. Je dois encore remarquer que les comètes sont aussi soumises à cette même loi; qu'elles sont principalement attirées par le soleil, dont la force attractive modère leur mouvement, mais qu'elles éprouvent aussi les forces attractives de toutes les planètes, surtout quand elles n'en sont pas très-éloignées; car c'est

une règle générale, comme nous verrons dans la suite, que l'attraction de tous les corps célestes diminue dans l'éloignement et augmente dans le voisinage. Or les comètes elles-mêmes sont aussi douées d'une attraction dont les autres corps sont attirés vers elles, et cela d'autant plus sensiblement que plus ils en approchent. Donc, lorsque quelque comète passe assez près d'une planète, sa force attractive en peut déranger le mouvement, tout de même que le mouvement de la comète est un peu troublé par l'attraction de la planète. Ces conséquences sont vérifiées par les observations, et on peut déjà alléguer quelques exemples qui prouvent que le mouvement d'une comète a été dérangé par l'attraction des planètes par le voisinage desquelles elle a passé, et que le mouvement de la terre et des autres planètes a déjà souffert quelque attraction de la part des comètes. Les étoiles fixes, étant des corps semblables au soleil, seront aussi douées d'une force attractive, mais dont nous ne sentons aucun effet à cause de leur prodigieuse distance.

5 septembre 1760.

LETTRE LIV.

Des différents sentiments des philosophes sur la gravitation universelle, et en particulier du sentiment des attractionnistes.

C'est donc un fait constaté par les raisons les plus solides, que dans tous les corps célestes il règne une gravitation générale par laquelle ils sont poussés ou attirés les uns vers les autres, et que cette force est d'autant plus grande que les corps sont plus proches entre eux. Ce fait ne saurait être contesté; mais on dispute s'il faut l'appeler une *impulsion* ou une *attraction*, quoique le seul nom ne change rien dans la chose même. Votre Altesse sait que l'effet est le même, soit qu'on pousse un chariot par derrière, ou qu'on le tire par devant; ainsi l'astronome, uniquement attentif à l'effet de cette force, ne se soucie pas si les corps célestes sont poussés les uns vers les autres, ou s'ils s'attirent mutuellement, de même que celui qui n'examine que les phénomènes ne se met pas en peine si la terre attire les corps, ou si les corps y sont poussés par quelque cause invisible. Mais si l'on veut pénétrer dans les mystères de la nature, il est très-important de savoir si c'est par impulsion ou par attraction que les corps célestes agissent les uns sur les autres; si c'est quelque matière subtile et invisible qui agit sur les corps et les pousse les uns vers les autres, ou si ces corps sont doués d'une

qualité cachée et occulte, par laquelle ils s'attirent mutuellement. Les philosophes sont fort partagés là-dessus; ceux qui sont pour l'impulsion se nomment *impulsionnaires*, et les partisans de l'attraction se nomment *attractionnistes*. Feu M. Newton inclinait beaucoup vers le sentiment de l'attraction, et aujourd'hui tous les Anglais sont attractionnistes fort zélés. Ils conviennent bien qu'il n'y a ni cordes, ni aucune des machines dont on se sert ordinairement pour tirer, dont la terre puisse se servir pour attirer à soi les corps, et y causer la pesanteur; encore moins découvrent-ils quelque chose entre le soleil et la terre dont on puisse croire que le soleil se servirait pour attirer la terre. Si l'on voyait un chariot suivre les chevaux sans qu'ils y fussent attelés, et qu'on n'y vît ni corde, ni autre chose propre à entretenir quelque communication entre le chariot et les chevaux, on ne dirait pas que le chariot fût tiré par les chevaux; on serait plutôt porté à croire que le chariot serait poussé par quelque force, quoiqu'on n'en vît rien, à moins que ce ne fût le jeu de quelque sorcière. Cependant messieurs les Anglais n'abandonnent pas leur sentiment. Ils soutiennent même que c'est une qualité propre à tous les corps de s'attirer mutuellement; que cette qualité leur est aussi naturelle que l'étendue, et qu'il suffit que le Créateur ait voulu que tous les corps s'attirassent mutuellement; et par là toute la question est résolue. S'il n'y avait eu que deux corps au monde, quelque éloignés qu'ils fussent l'un de l'autre, il y aurait d'abord eu une tendance de l'un vers l'autre, par laquelle ils se seraient bientôt rapprochés et même réunis. De là il suit que plus un corps est grand, plus est grande aussi l'attraction avec laquelle il attire les corps; car, puisque cette qualité est essentielle à la matière, plus un corps contient de matière, plus il exerce de force pour attirer à soi les autres corps. Donc, puisque le soleil surpasse considérablement en grandeur toutes les planètes, la force attractive dont il est doué est aussi beaucoup plus grande que celle des planètes. Ils remarquent aussi que le corps de Jupiter étant beaucoup plus grand que la terre, la force attractive qu'il exerce sur ses satellites est aussi beaucoup plus grande que celle dont la terre agit sur la lune. Suivant ce sentiment, la pesanteur des corps sur la terre est le résultat de toutes les attractions dont les corps sont attirés à toutes les parties de la terre; et si la terre renfermait plus de matière qu'elle n'en renferme actuellement, son attraction deviendrait aussi plus grande, et la pesanteur ou le poids des corps serait augmenté. Mais, au contraire, si, par quelque accident, la terre perdait une partie de sa matière, son attraction deviendrait plus petite, et tous les corps moins pesants. On re-

proche à ces philosophes que, selon leur sentiment, deux corps quelconques, posés par exemple sur une table, se devraient attirer, et conséquemment s'approcher; ils accordent la conséquence, mais ils disent que, dans ce cas, l'attraction serait trop petite pour qu'il en pût résulter un effet sensible[1]; car si toute la masse de la terre, par sa force attractive, ne produit dans chaque corps que sa pesanteur ou son poids, un corps qui est plusieurs millions de fois plus petit que toute la terre produira aussi un effet autant de fois plus petit. Or, on conviendra aisément que si le poids d'un corps devenait plusieurs millions de fois plus petit, l'effet en devrait être réduit à rien. D'où il suit qu'à moins que les corps, ou au moins l'un d'eux, ne soient excessivement grands, l'attraction ne saurait être sensible. Ainsi, de ce côté, on ne gagne rien contre les attractionnistes; ils allèguent même en leur faveur une expérience faite en Amérique par les académiciens de Paris, où l'on a observé, tout près d'une très-haute et grande montagne, l'effet d'une petite attraction, dont le corps de la montagne a attiré les corps voisins. Ainsi, en embrassant le système des attractionnistes, on n'a pas à craindre qu'il nous conduise à de fausses conséquences; on peut plutôt être assuré d'avance de leur vérité.

7 septembre 1760.

LETTRE LV.

Sur la force avec laquelle tous les corps célestes s'attirent mutuellement.

Votre Altesse connaît la propriété qu'a l'aimant d'attirer à soi le fer, puisque nous voyons que de petits morceaux de fer ou d'acier, comme des aiguilles, étant placés dans le voisinage d'un aimant, y sont entraînés avec une force d'autant plus grande qu'ils sont plus proches. Comme on ne voit rien qui les pousse vers l'aimant, on dit que l'aimant les attire, et l'action même se nomme *attraction*. On ne saurait douter cependant qu'il n'y ait quelque matière très-subtile, quoique invisible, qui produise cet effet, en poussant effectivement le fer vers l'aimant; mais, comme le langage se règle sur les apparences, l'usage a prévalu de dire que l'aimant attire le fer, et qu'il s'y fait une attraction. Quoique ce phénomène soit parti-

1. Ce qui empêche cet effet d'être sensible, c'est le frottement que les deux corps auraient à vaincre pour se rapprocher. Otez le frottement, ou du moins diminuez-le suffisamment, l'attraction des deux corps deviendra sensible, comme l'a prouvé l'expérience de Cavendish.

culier à l'aimant et au fer, il est très-propre à éclaircir le terme d'attraction, dont les philosophes modernes se servent si fréquemment. Ils disent donc qu'une propriété semblable à celle de l'aimant convient à tous les corps en général, et que tous les corps au monde s'attirent mutuellement; mais que cet effet ne devient sensible que lorsque les corps sont extrêmement grands, et devient absolument insensible dans les petits. Quelque grande, par exemple, que soit une pierre, elle n'exerce aucune attraction sur d'autres corps qu'on lui présente, parce que sa force est trop petite pour rendre l'attraction sensible; mais si l'on augmentait la pierre jusqu'à la faire devenir plusieurs milliers de fois plus grande, l'attraction en deviendrait enfin aussi sensible. J'ai déjà fait remarquer à Votre Altesse qu'on prétend effectivement avoir observé qu'une grande montagne en Amérique avait produit une petite attraction. Une plus grande montagne produirait donc une attraction encore plus sensible; et un corps encore beaucoup plus grand, comme, par exemple, la terre tout entière, attirerait avec une force d'autant plus grande. Or cette force, dont la terre tout entière attirerait à soi tous les corps, est précisément la gravité, par laquelle nous voyons que tous les corps sont effectivement portés vers la terre. Donc, suivant ce système, la gravité ou pesanteur, qui fait tomber en bas tous les corps, n'est autre chose que l'effet de la terre tout entière, par laquelle elle attire à soi tous les corps. Si le corps de la terre était plus grand ou plus petit, la gravité ou la pesanteur des corps serait aussi plus grande ou plus petite. D'où l'on comprend que tous les autres grands corps de l'univers, comme le soleil, les planètes et la lune, sont doués d'une force attractive semblable, mais plus ou moins grande, suivant qu'ils sont eux-mêmes plus ou moins grands. Comme le soleil est plusieurs milliers de fois plus grand que la terre, sa force attractive surpasse autant de fois celle de la terre. On estime que le corps de la lune est environ 40 fois plus petit que celui de la terre, d'où résulte que sa force attractive en est d'autant de fois plus petite; et il en est de même de tous les corps célestes.

9 septembre 1760.

LETTRE LVI.

Sur le même sujet.

En vertu du système de l'attraction ou de la gravitation universelle, chaque corps céleste attire tous les autres et en est récipro-

quement attiré. Or, pour juger de la force avec laquelle ces corps attirent les autres, nous n'avons qu'à considérer deux corps qui s'attirent mutuellement. Il faut pour lors avoir égard à trois choses, premièrement au corps attirant, en second lieu au corps attiré, et troisièmement à leur distance; attendu que la force d'attraction dépend de tous ces trois points.

Soit A (*fig.* 33) le corps attirant, et B le corps attiré; l'un et l'autre étant sphériques, les corps célestes ayant à peu près cette figure. Leur distance alors est estimée par celle de leurs centres A et B, c'est-à-dire par la ligne droite AB. Maintenant, pour le premier point qui regarde la quantité du corps attirant A, il faut remarquer que plus ce corps est grand, plus aussi sa force sera grande pour attirer le corps B. Ainsi, si le corps attirant était deux fois plus grand, le corps B y serait attiré par une force double; s'il était trois fois plus grand, celui-ci y serait attiré par une force triple, et ainsi de suite, supposé que la distance de leurs centres fût toujours la même. Donc si la terre renfermait plus ou moins de matière qu'elle n'en contient actuellement, tous les corps y seraient attirés avec d'autant plus ou moins de force, ou bien leur poids serait d'autant plus ou moins grand. Et comme toute la terre est attirée par le soleil, si le soleil était plus ou moins grand, la terre y serait attirée avec d'autant plus ou moins de force. Quant au corps attiré B, le corps attirant A et la distance AB demeurant les mêmes, il est à remarquer que, plus le corps B est grand ou petit, plus aussi la force par laquelle il est attiré vers le corps sera grande ou petite. Ainsi, si le corps B est deux fois plus grand, il sera attiré au corps A avec une force double; s'il est trois fois plus grand, il le sera avec une force triple, et ainsi de suite. Pour mieux éclaircir la chose, nous n'avons qu'à mettre la terre au lieu du corps attirant A, et la force dont le corps B est attiré n'est autre chose que le poids du corps B : or nous savons que plus ce corps B est grand ou petit, plus aussi son poids est grand ou petit; d'où nous voyons que tant que le corps attirant A et la distance AB demeurent les mêmes, la force dont le corps B est attiré suit précisément la grandeur de ce corps. Pour exprimer cette circonstance, on se sert, dans les mathématiques, du terme de *proportionnel*, et l'on dit que la force dont le corps B est attiré au corps A est proportionnelle à la masse du corps; ce qui signifie que si la masse du corps B était deux, ou trois, ou quatre fois plus grande, la force serait précisément autant

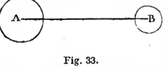


Fig. 33.

de fois plus grande. Ainsi, sur le premier point, où l'on regarde le corps attirant A, on dit de la même manière que la force dont le corps B est attiré au corps A est aussi proportionnelle à la masse du corps A, pendant que le corps B avec la distance AB demeurent les mêmes. Je dois encore observer que quand on parle ici de la quantité du corps attirant A ou du corps attiré B, on entend la quantité de matière que l'un ou l'autre renferme, et non leur seule étendue. Votre Altesse se souviendra bien que les corps diffèrent très-considérablement à cet égard, et qu'il y en a qui, sous une petite étendue, renferment beaucoup de matière, comme l'or par exemple, pendant que d'autres, comme l'air, renferment, sous une grande étendue, fort peu de matière. Quand il s'agit donc ici des corps, il faut toujours en juger par la quantité de leur matière, qu'on nomme aussi leur *masse*. Il ne me reste plus que d'examiner le troisième point, c'est-à-dire la distance AB des deux corps, en supposant qu'ils demeurent les mêmes. Il faut observer, sur cela, qu'en augmentant la distance AB, l'attraction diminue, et qu'en diminuant cette distance l'attraction augmente, mais selon une règle qu'il n'est pas facile d'exprimer. Lorsque la distance devient deux fois plus grande, la force dont le corps B est attiré vers le corps A sera 2 fois 2 ou bien 4 fois plus petite ; et pour une distance triple, la force d'attraction devient 3 fois 3, c'est-à-dire 9 fois plus petite. Si la distance devient 4 fois plus grande, la force d'attraction devient 4 fois 4, c'est-à-dire 16 fois plus petite, et ainsi de suite. De sorte que, pour une distance 100 fois plus grande, la force d'attraction sera 100 fois 100, ou bien 10,000 fois plus petite. D'où l'on voit que, pour de très-grandes distances, la force d'attraction doit devenir enfin tout à fait insensible. Or, réciproquement, lorsque la distance AB est très-petite, la force d'attraction peut être très-considérable, quoique les corps soient très-petits.

11 septembre 1760.

LETTRE LVII.

Sur le même sujet.

Lorsqu'un corps B est attiré par un autre corps A, je viens de faire voir que la force d'attraction est premièrement proportionnelle à la masse du corps attirant A et à celle du corps attiré B ; mais la force de cette attraction dépend tellement de la distance de ces corps que si la distance devenait deux fois, ou trois fois, ou

quatre fois, ou cinq fois plus grande, la force d'attraction deviendrait quatre fois, ou neuf fois, ou seize fois, ou vingt-cinq fois plus petite. Pour établir sur cela quelque règle, il faut multiplier par lui-même le nombre qui marque combien de fois la distance est augmentée, et le produit montrera combien de fois l'attraction devient plus petite. Pour mettre cette règle dans tout son jour, il faut observer que, lorsqu'on multiplie un nombre par lui-même, on nomme le produit qui en résulte son *carré*; ainsi, pour trouver ces carrés, il faut multiplier les nombres par eux-mêmes en cette sorte :

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
mult. par	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
carré	1	4	9	16	25	36	49	64	81	100

```
              11                  12
mult. par     11     mult. par    12
            ----                ----
              11                  24
             11                  12
            ----                ----
carré        121                 144
```

Par ce dernier exemple, il est clair que le carré du nombre 12 est 144; et si l'on veut savoir le carré d'un autre nombre quelconque, par exemple de 258, il faut multiplier ce nombre par lui-même, et on fera l'opération suivante :

```
  258
  258
 -----
  2064
 1290
 516
 -----
 66564
```

d'où l'on voit que le carré de ce nombre, 258, est 66,564. De la même manière on opérera pour tous les autres nombres.

Donc, puisqu'il faut multiplier la distance des corps par elle-même, il est clair que la force d'attraction diminue autant de fois que le carré de la distance augmente, ou bien que le carré de la distance devient autant de fois plus grand que la force d'attraction devient plus petite. En traitant ces sortes de sujets, les mathématiciens, pour se faire entendre, emploient certains termes qu'il est

bon d'expliquer, parce qu'on s'en sert aussi quelquefois dans les conversations. Si la force de l'attraction augmentait en raison du carré de la distance, on dirait qu'elle serait proportionnelle au carré de la distance; mais puisqu'il arrive précisément le contraire, en sorte que la force d'attraction diminue pendant que le carré de la distance augmente, on emploie le mot *réciproquement* pour marquer cette contrariété, en disant que la force est réciproquement proportionnelle au carré de la distance. C'est une manière géométrique de parler dont Votre Altesse comprendra parfaitement le sens, qui est le même que je viens d'exposer ci-dessus. Donc, pour juger de la force dont un corps est attiré vers un autre, on n'a qu'à remarquer que cette force est premièrement proportionnelle à la masse du corps attirant, ensuite à celle du corps attiré, et enfin réciproquement au carré de leur distance. De là il est d'abord clair que, quoique la terre et les planètes soient aussi attirées vers les étoiles fixes, cette force doit absolument être insensible, à cause de leur prodigieuse distance. En effet, en supposant la masse d'une étoile fixe égale à celle du soleil, à distances égales, la terre y serait attirée avec autant de force que vers le soleil; mais puisque la distance de l'étoile fixe est 400,000 fois plus grande que celle du soleil, le carré de ce nombre étant de 160,000,000,000, ou cent soixante mille millions, la force dont la terre est attirée à cette étoile fixe sera cent soixante mille millions de fois plus petite que celle dont la terre est attirée par le soleil, ce qui serait une attraction trop petite pour produire le moindre effet sensible. Par cette raison, la force attractive des étoiles fixes ne change rien dans le mouvement de la terre, des planètes et de la lune; mais c'est la force attractive du soleil qui règle principalement le mouvement de la terre et des planètes, puisque la masse du soleil surpasse plusieurs milliers de fois la masse de chaque planète. Cependant, quand deux planètes s'approchent, en sorte que leur distance devient plus petite que celle du soleil, leur force attractive en est augmentée et pourrait devenir assez sensible pour troubler leur mouvement. Or on s'aperçoit en effet de ce dérangement, ce qui fait une preuve très-forte en faveur du système d'attraction ou de gravitation universelle; ainsi, quand une comète approche beaucoup d'une planète, elle peut bien en altérer le mouvement [1].

1. Cette altération est insensible, à cause du peu de masse des comètes. On sait que la matière qui les forme est si rare que l'on peut voir les étoiles au travers de leur noyau.

13 septembre 1760.

LETTRE LVIII.

Sur le mouvement des corps célestes, et sur la méthode de les déterminer par les lois de la gravitation universelle.

De ce que je viens de dire sur la force avec laquelle tous les corps célestes sont attirés vers les autres en raison de leur grandeur ou masse et de leur distance, Votre Altesse comprendra facilement comment on peut déterminer leur mouvement pour assigner en tout temps le vrai lieu où chaque corps se trouvera. C'est en quoi consiste la science de l'astronomie, qui dépend d'une exacte connaissance du mouvement de tous les corps célestes, afin d'être en état de déterminer pour chaque moment, tant passé qu'à venir, l'endroit où chaque corps céleste doit se trouver, et en quel lieu du ciel il doit paraître, étant vu de la terre et d'un autre lieu quelconque du monde. Or la science qui traite du mouvement en général est nommée *mécanique* ou *dynamique*. Son objet est de déterminer le mouvement des corps quelconques, lorsqu'ils sont poussés par telle force que ce soit. Cette science est une des principales parties des mathématiques, et ceux qui s'y appliquent font tous leurs efforts pour porter la mécanique à son plus haut degré de perfection. Leurs recherches sont cependant si profondes qu'on ne peut pas se vanter encore d'avoir réussi, et qu'il faut se contenter d'y avancer peu à peu. Ce n'est que depuis dix ou vingt ans qu'on y fait des progrès assez considérables, et c'est principalement sur de pareils sujets que l'Académie des sciences de Paris propose tous les ans des questions auxquelles sont attachés des prix assez considérables pour ceux qui réussissent le mieux. La plus grande difficulté consiste dans la pluralité des forces dont chaque corps céleste est poussé ou attiré vers tous les autres. Si chaque corps n'était attiré que vers un seul autre corps, la chose n'aurait aucune difficulté; et le grand mathématicien anglais, feu M. Newton, qui est mort en 1728, avait le premier heureusement déterminé le mouvement de deux corps qui s'attirent mutuellement, selon la loi dont j'ai eu l'honneur de parler à Votre Altesse. Suivant cette loi, si la terre n'était attirée que vers le soleil seul, on connaîtrait parfaitement bien le mouvement de la terre, et il n'y aurait plus aucune autre recherche à faire. Il en serait de même des autres planètes, de Saturne, de Jupiter, de Mars, de Vénus, de Mercure, si ces corps n'étaient attirés que par le soleil.

Mais la terre étant attirée, non-seulement par le soleil, mais aussi par tous les autres corps célestes, la question devient infiniment plus compliquée et plus embarrassée à cause de la pluralité des forces dont elle est agitée. Heureusement cependant il arrive qu'on peut négliger les forces dont elle est attirée vers les étoiles fixes, puisque les étoiles fixes, quelque grandes que soient leurs masses, sont si prodigieusement éloignées, qu'à cet égard les forces qu'elles exercent sur la terre sont si petites qu'on peut les négliger. Le mouvement de la terre et des autres planètes sera donc toujours aussi parfaitement le même que si les étoiles fixes n'existaient point. Outre la force du soleil, on n'a donc qu'à considérer les forces avec lesquelles les planètes s'attirent réciproquement. Or, ces forces sont de même extrêmement petites, en les comparant avec celles dont chaque planète est attirée vers le soleil; la raison en est que la masse du soleil surpasse tant de fois la masse de chaque planète, qu'à cet égard il n'en résulte qu'une force très-petite, en comparaison de celle du soleil. Cependant, puisque ces forces augmentent lorsque les distances deviennent plus petites, de sorte qu'à une distance deux fois plus petite répond une force 4 fois plus grande, qu'à une distance 3 fois plus petite répond une force 9 fois plus grande, et ainsi de suite selon les carrés des nombres, comme je l'ai expliqué dans ma lettre précédente ; il serait bien possible que deux planètes s'approchassent si près, que leur force attractive deviendrait égale à celle du soleil et la surpasserait même beaucoup. Ce cas n'arrive heureusement pas dans ce monde, et les planètes demeurent toujours si éloignées les unes des autres que leur force attractive est toujours incomparablement plus petite que celle dont elles sont attirées vers le soleil. C'est pourquoi, sans porter nos vues au delà de ces connaissances, on peut envisager chaque planète comme n'étant attirée que par la seule force du soleil, et de là il est aisé de déterminer son mouvement. Cela ne peut cependant avoir lieu que lorsqu'on se contente d'une connaissance superficielle du mouvement des planètes; car dès qu'on voudrait être plus exactement instruit, il faudrait avoir égard à ces petites forces dont les planètes agissent les unes sur les autres, d'où résultent effectivement de petites irrégularités et des aberrations dont les astronomes ne s'aperçoivent que trop dans leurs observations; et c'est pour bien connaître toutes ces irrégularités dans le mouvement des planètes qu'eux-mêmes, ainsi que les mécaniciens, réunissent toutes leurs forces et leur adresse.

15 septembre 1760.

LETTRE LIX.

Sur le système du monde.

Pour mieux éclaircir ce que je viens d'exposer sur le mouvement des corps célestes et sur les forces qui en sont la cause, il sera bon de présenter à Votre Altesse (*fig.* 34) le système du monde ou une description des corps célestes qui le composent. D'abord il faut observer que les étoiles fixes sont des corps entièrement semblables au soleil, et luisant d'eux-mêmes, éloignés tant du soleil qu'entre eux par des distances prodigieuses, et dont chacun peut être de la même grandeur que le soleil. J'ai déjà eu l'honneur de dire à Votre Altesse que celle des étoiles fixes, qui est la plus proche de nous, est 400,000 fois plus éloignée de nous que le soleil. Chaque étoile fixe semble être destinée pour échauffer et éclairer un certain nombre de corps opaques, semblables à notre terre et habités aussi sans doute, lesquels se trouvent dans son voisinage, mais que nous ne voyons point à cause de leur prodigieux éloignement. Quoiqu'on ne puisse en être assuré par des observations, on l'infère néanmoins de leur ressemblance avec le soleil, qui sert à échauffer et éclairer notre terre, et même encore quelques autres corps semblables à notre terre, qu'on nomme planètes. On connaît particulièrement six[1] de ces corps qui sont échauffés et éclairés par le soleil. Ces corps ne sont pas en repos, mais chacun d'eux se meut autour du soleil par une route qui diffère peu d'un cercle, et cette route se nomme l'*orbite* de chaque planète. Le soleil lui-même est à peu près en repos, ainsi que toutes les étoiles fixes, le mouvement que nous leur voyons n'étant qu'apparent et causé par le mouvement de la terre.

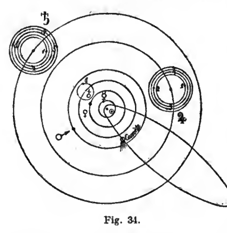


Fig. 34.

1. Voyez la note 2, page 28.

J'ai donc représenté (*fig.* 34) ce qu'on nomme le système solaire, qui renferme tous les corps opaques qui se meuvent autour du soleil, et qui jouissent des mêmes avantages qu'il nous procure. La grande tache que j'ai mise vers le milieu du papier avec le signe ☉, représente le soleil en repos. Autour de lui sont six cercles qui marquent les orbites ou les routes par lesquelles les planètes se meuvent autour du soleil. La planète la plus voisine du soleil est Mercure, marqué par le signe ☿, et la petite tache qui s'y trouve représente le corps de Mercure, qui achève son tour par son orbite autour du soleil en 88 jours environ. Vient ensuite Vénus, marquée par ♀, qui achève ses révolutions autour du soleil en 7 mois environ. Le troisième cercle est notre terre, qui porte le signe ♁, et qui achève ses révolutions autour du soleil dans un an, une année n'étant autre chose que le temps que la terre emploie à parcourir son cercle autour du soleil. Mais pendant que la terre se meut autour du soleil, il y a un autre corps qui se meut lui-même autour de la terre en la suivant dans son orbite, et c'est la lune ☾, dont le cercle ou orbite est représenté dans la figure. Les deux premières planètes ☿ et ♀ n'ont point visiblement de corps qui les accompagnent, non plus que Mars ♂, qui est la quatrième, et qui parcourt son orbite autour du soleil en 2 ans environ. Le cinquième cercle est celui de Jupiter ♃, qui fait sa révolution en 12 ans environ. Autour de lui se meuvent quatre satellites représentés dans la figure, avec leurs orbites, par les nombre 1, 2, 3, 4. Enfin le sixième et dernier cercle est l'orbite de Saturne ♄, qui emploie presque trente ans pour faire sa révolution autour du soleil. Cette planète est accompagnée dans son cours de cinq satellites, marqués par les nombres 1, 2, 3, 4, 5[1]. C'est ainsi que le système du soleil renferme six planètes principales, Mercure ☿, Vénus ♀, la Terre ♁, Mars ♂, Jupiter ♃, Saturne ♄, et outre cela dix satellites, savoir, la lune, quatre satellites de Jupiter et cinq de Saturne. Ce système contient encore plusieurs comètes, dont le nombre est inconnu. La figure en représente une, dont l'orbite diffère de celle des planètes parce qu'elle est extrêmement allongée, de sorte qu'une comète s'approche tantôt beaucoup du soleil jusqu'à nous, et tantôt s'en éloigne jusqu'à nous devenir tout à fait invisible. Parmi les comètes, on en a remarqué une qui achève ses révolutions dans son orbite en 75 ans environ, et c'est celle qu'on a vue l'année dernière. Pour les autres comètes, il est certain qu'elles mettent plusieurs siècles à parcourir leurs orbites; et comme dans les siècles passés on ne les a pas exactement obser-

1. Voyez la note, page 146.

vées, on ne sait rien de leur retour. Voilà donc en quoi consiste le système du soleil, et il est très-probable que chaque étoile fixe en ait un semblable.

17 septembre 1760.

LETTRE LX.

Sur le même sujet.

Outre ce que j'ai dit à Votre Altesse sur le système solaire, je dois lui communiquer encore quelques observations pour en expliquer les figures. Il faut remarquer, d'abord, que les lignes qui marquent les routes que parcourent les planètes en vertu de leur mouvement n'ont aucune réalité dans les cieux, puisque tout l'espace du ciel par lequel les corps célestes se meuvent est vide ou plutôt rempli de cette matière subtile qu'on nomme l'éther, dont j'ai eu l'honneur de parler fort amplement à Votre Altesse. Ensuite les orbites des planètes n'existent pas toutes dans un même plan, comme la figure les présente; mais si l'orbite de la terre avec le soleil est bien représentée sur le papier, il faut s'imaginer que les orbites des cinq autres planètes sont en partie élevées sur le papier et en partie déprimées au-dessous, ou bien que l'orbite de chaque planète y est couchée obliquement, faisant avec le papier une intersection sous un certain angle qu'il est impossible de représenter dans une figure dessinée sur le papier.

Outre cela, les orbites des planètes ne sont pas des cercles, comme la figure paraît l'indiquer, mais elles sont plutôt d'une figure un peu ovale, l'une plus et l'autre moins; cependant aucune ne diffère pas considérablement d'un cercle. L'orbite de Vénus est presque un cercle parfait, mais celle des autres planètes est plus ou moins ovale, de sorte que ces planètes sont tantôt plus près du soleil et tantôt plus éloignées. Les orbites des comètes se distinguent parce qu'elles sont extrêmement ovales ou allongées, comme je l'ai marqué dans la figure. Quant à la lune et aux satellites de Saturne et de Jupiter, leurs orbites sont aussi presque circulaires. Il ne faut pas non plus les concevoir comme étant couchées ainsi qu'elles le sont sur le plan du papier; car elles ne demeurent pas au même endroit, mais elles sont elles-mêmes emportées autour du soleil avec la planète principale à laquelle elles appartiennent. C'est ainsi qu'il faut entendre les lignes représentées dans la figure.

L'imagination doit suppléer à ce qu'il est impossible de bien représenter sur le papier. De là Votre Altesse comprendra aisément ce que feu M. de Fontenelle a voulu dire dans son livre sur la pluralité des mondes. On nomme quelquefois *monde* la terre tout entière avec tous les habitants; et à cet égard chaque planète, et même chacun des satellites, mérite ce nom avec autant de droit, puisqu'il est plus que vraisemblable que chacun de ces corps a des habitants aussi bien que la terre. Il y aurait donc seize mondes dans le seul système du soleil. Ensuite, chaque étoile fixe étant un soleil autour duquel un certain nombre de planètes achèvent leur révolution, et dont quelques-unes ont sans doute aussi leurs satellites, nous avons presque une infinité de mondes semblables à notre terre, attendu que le nombre des étoiles, vues de nos yeux simples, surpasse quelques milliers, et que les lunettes nous en découvrent encore un nombre incomparablement plus grand. Veut-on comprendre sous le nom de monde le soleil avec les planètes et les satellites qui leur appartiennent et qui en reçoivent leur chaleur et leur lumière, on aura autant de mondes qu'il y a d'étoiles fixes. Mais si sous le nom de monde on entend la terre avec tous les corps célestes, ou bien tous les êtres créés à la fois, il faut faire attention qu'il ne saurait y avoir qu'un seul monde auquel on rapporte tout ce qui existe. C'est dans ce sens qu'on prend le terme de monde dans la philosophie, et en particulier dans la métaphysique, où c'est un dogme ou une vérité fondamentale, qu'il n'y a qu'un seul monde, qui est l'assemblage de tous les êtres créés, tant passés que présents et futurs. Si M. de Fontenelle avait voulu soutenir dans ce sens la pluralité des mondes, il aurait été certainement dans l'erreur.

Cependant, quand les philosophes disputent entre eux si notre monde est meilleur ou non, ils supposent sans doute une pluralité de mondes, et plusieurs soutiennent que celui qui existe actuellement est le meilleur entre tous les autres qui auraient pu également exister. Ils se représentent Dieu comme un architecte qui, ayant voulu créer ce monde, s'est proposé plusieurs plans, tous différents entre eux, parmi lesquels il a choisi le meilleur ou celui dans lequel toutes les perfections étaient réunies au plus haut degré, et qu'il a créé celui-ci préférablement à tous les autres. Ce sentiment paraît être confirmé par l'histoire de la création, où il est dit expressément que tout était parfaitement bien. Mais le grand nombre des maux qui se trouvent dans ce monde, et qui tirent leur origine de la méchanceté des hommes, cause ici un doute fort important, savoir s'il n'aurait pas été possible de créer un monde tout à fait

délivré de tels maux. A mon avis, il faut bien distinguer entre des plans d'un monde qui ne contient que des êtres corporels et d'un monde qui contient aussi des êtres intelligents et libres. Dans le premier cas, un choix du meilleur n'aurait aucune difficulté; mais dans l'autre cas, où les êtres intelligents et libres font la principale partie du monde, le jugement du meilleur surpasse infiniment notre portée, et la méchanceté même des êtres libres peut contribuer à la perfection du monde d'une manière inconcevable.

Or il semble que les philosophes n'ont pas assez fait d'attention à cette distinction si essentielle; mais je sens trop mon incapacité pour vouloir entrer dans une question si importante.

19 septembre 1760.

LETTRE LXI.

Sur les petites irrégularités qu'on observe dans les mouvements des planètes, et qui sont causées par leur attraction mutuelle.

Pour déterminer le mouvement des corps qui composent le système solaire, il faut distinguer les planètes principales, qui sont Mercure, Vénus, la Terre, Mars, Jupiter et Saturne, de leurs satellites; c'est-à-dire de la lune, des quatre satellites de Jupiter et des cinq de Saturne. J'ai déjà eu l'honneur de faire remarquer à Votre Altesse que ces six planètes sont principalement attirées vers le soleil, ou que la force avec laquelle elles sont poussées vers le soleil est incomparablement plus grande que les forces dont elles s'attirent mutuellement. La raison en est la prodigieuse masse du soleil, et que les planètes ne s'approchent jamais tant entre elles, que leur force mutuelle puisse devenir considérable en comparaison de la force du soleil. Si les planètes étaient uniquement attirées vers le soleil, leur mouvement serait assez régulier et fort aisé à déterminer.

Mais les petites forces dont les planètes agissent les unes sur les autres y causent quelques petites irrégularités, que les astronomes s'occupent à découvrir par les observations, comme les mécaniciens s'occupent à leur tour pour les déterminer par les principes du mouvement. Il s'agit ici toujours de cette grande question : Les forces qui agissent sur un corps étant connues, quel sera le mouvement de ce corps? Or, par les principes exposés ci-dessus, on connaît les forces à l'action desquelles chaque planète est assujet-

tie. Ainsi le mouvement de la terre est un peu dérangé, 1° par l'attraction de Vénus, qui s'approche quelquefois beaucoup de la terre; et 2° par l'attraction de Jupiter, qui, à cause de sa grandeur, devient considérable, quoiqu'elle soit toujours fort éloignée.

La masse de Mars est trop petite pour y produire un effet sensible, nonobstant la proximité où il se trouve quelquefois; et Saturne, quoique sa masse soit la plus grande après celle de Jupiter, est trop éloigné. Or la lune, quoique très-petite, cause quelque dérangement à cause de sa proximité. La comète de l'année dernière a été sept fois plus proche de nous que le soleil lorsque sa distance était la plus petite; il est donc assez vraisemblable que cette comète peut avoir dérangé le mouvement de la terre, surtout si sa masse était considérable, ce que nous ne savons pas. Si cette comète était aussi grande que la terre, l'effet devait être très-considérable; mais sa petitesse apparente me fait croire que son corps est beaucoup plus petit que celui de la terre, et par conséquent son effet doit avoir été d'autant de fois plus petit. Cependant lorsque nous vîmes cette comète, elle était déjà fort éloignée de nous; dans le temps où elle en était le plus près, elle nous était invisible, et nos antipodes l'auraient vue assez brillante. Ce que je viens de dire sur les dérangements causés dans le mouvement de la terre a lieu aussi dans les autres planètes, eu égard à leur masse et à leur proximité. Pour la lune et les autres satellites, le principe de leur mouvement est un peu différent. La lune est si proche de la terre, que l'attraction de la terre sur la lune surpasse beaucoup celle du soleil, quoique la masse du soleil soit plusieurs milliers de fois plus grande que celle de la terre. De là vient que le mouvement de la lune suit celui de la terre, et qu'elle lui demeure comme attachée, ce qui fait regarder la lune comme un satellite de la terre. Si la lune avait été placée beaucoup plus loin de nous, de sorte que l'attraction vers la terre fût moindre que celle vers le soleil, la lune serait devenue une planète principale et aurait fait ses révolutions autour du soleil; mais à présent la lune est 300 fois plus proche de la terre que du soleil, d'où il est aisé de comprendre que l'attraction de la terre peut surpasser celle du soleil. Ainsi la lune étant principalement attirée par deux forces, celle de la terre et celle du soleil, il est évident que la détermination de son mouvement doit être beaucoup plus difficile que celui des planètes principales, qui n'éprouvent qu'une seule force, savoir : celle du soleil, en faisant abstraction des petits dérangements dont je viens de parler. Aussi de tout temps le mouvement de la lune a terriblement embarrassé les astronomes, et ils n'ont jamais pu parvenir à prédire,

pour un temps donné, le lieu de la lune au ciel, sans se tromper considérablement. Votre Altesse comprend aisément que, pour prédire une éclipse tant de lune que de soleil, il faut être en état d'assigner exactement le lieu de la lune. Or, dans les siècles passés, quand on a voulu calculer quelque éclipse, on s'est souvent trompé d'une heure ou davantage, l'éclipse étant arrivée une heure ou davantage plus tôt ou plus tard qu'on n'avait trouvé par le calcul. Quelques peines que les anciens astronomes se soient données pour pénétrer le mouvement de la lune, ils sont toujours restés fort éloignés du vrai; ce n'est que depuis que le grand Newton a découvert les véritables forces qui agissent sur la lune, qu'on s'est approché de plus en plus de la vérité, après avoir vaincu les obstacles qu'on a rencontrés dans cette recherche. J'y avais aussi employé bien du temps; et M. Meyer, de Göttingue, poursuivant la route que j'avais frayée, est enfin parvenu à un point de précision qu'on ne saurait presque pousser plus loin. Ce n'est donc que depuis environ dix ans qu'on peut se vanter d'avoir assez de connaissances sur le mouvement de la lune. C'est depuis ce temps-là qu'on est en état de calculer les éclipses si exactement, qu'on ne se trompe pas d'une minute dans le temps; au lieu qu'avant on s'était souvent trompé de 8 minutes et au delà. C'est donc à la mécanique qu'on est redevable de cette importante découverte, qui procure les plus grands avantages, non-seulement à l'astronomie, mais aussi à la géographie et à la navigation.

23 septembre 1760.

LETTRE LXII.

Des marées.

La force attractive des corps célestes s'étend non-seulement au corps entier de la terre, mais aussi à toutes les parties dont elle est composée. Ainsi tous les corps que nous voyons sur la surface de la terre sont non-seulement attirés à la terre même, d'où résulte leur pesanteur et le poids de chacune en particulier, mais ils sont aussi attirés vers le soleil et vers tous les autres corps célestes, et cela plus ou moins, selon la grandeur de ces corps et leur distance. Or, il est d'abord évident que la force dont un corps, une pierre, par exemple, est attiré vers la terre, doit être incomparablement plus grande que les forces dont ce même corps est attiré vers le soleil, les autres planètes et la lune, à cause de leur grande di-

stance. Un tel corps étant éloigné du centre de la terre par la distance du rayon de la terre, est 60 fois plus éloigné de la lune : donc, si la lune était aussi grande que la terre, l'attraction vers la lune serait 60 fois 60, ou 3,600 fois plus petite que l'attraction vers la terre, ou la pesanteur du corps; or, le corps de la lune est environ 70 fois plus petit que le corps de la terre, d'où la force attractive de la lune devient encore 70 fois 3,600, ou en tout 252,000 fois plus petite que sa pesanteur. Ensuite, quoique le soleil soit plusieurs milliers de fois plus grand que la terre, il est environ 24,000 fois plus éloigné de nous que le centre de la terre, et c'est pourquoi l'attraction du soleil sur une pierre est extrêmement petite, par rapport à sa pesanteur. Votre Altesse voit donc par là que la pesanteur des corps terrestres, qui n'est autre chose que la force dont ils sont attirés vers la terre, ne saurait être sensiblement altérée par l'attraction des corps célestes. Cependant, quelque petite que soit cette attraction, il en résulte un phénomène très-remarquable qui a toujours extrêmement tourmenté les philosophes : c'est le *flux* et le *reflux* de la mer. On en parle si souvent dans les discours ordinaires, qu'il est devenu presque nécessaire d'en avoir connaissance; et c'est par cette raison que je me propose de présenter à Votre Altesse tant une description détaillée de ce phénomène singulier qu'une explication des causes qui le produisent. Je commence donc par la description du phénomène qui est connu sous le nom de flux et reflux de la mer. On sait que la plus grande partie de la surface de la terre est couverte d'eau, ce qu'on nomme la mer ou l'océan. Ce grand assemblage des eaux est bien différent des rivières et des lacs, qui, suivant les différentes saisons de l'année, contiennent tantôt plus, tantôt moins d'eau, pendant que dans la mer la quantité d'eau demeure à peu près toujours la même. Cependant on observe que l'eau de la mer hausse et baisse alternativement deux fois chaque jour assez régulièrement. Par exemple, si dans un port l'eau se trouve à présent à la plus grande hauteur, elle commencera bientôt à baisser, et cette diminution continue pendant 6 heures, où la hauteur devient la plus petite. Elle recommence ensuite à hausser, et cette augmentation dure aussi 6 heures, auquel temps l'eau atteint la plus grande hauteur. De là elle baisse de nouveau pendant 6 heures et remonte autant de temps; de sorte que, dans l'intervalle de 24 heures environ, l'eau monte et baisse deux fois et parvient alternativement à la plus grande et à la plus petite hauteur. C'est cette alternative d'augmentation et de diminution de l'eau de la mer qu'on nomme le flux et le reflux de la mer : et en particulier le flux marque le temps où l'eau

monte ou hausse; et le reflux, celui où l'eau baisse ou diminue. Le flux et le reflux ensemble se nomment aussi la *marée*. C'est donc sur cette alternative élévation et abaissement de l'eau de la mer que j'aurai l'honneur d'entretenir Votre Altesse. On remarque d'abord que la différence entre l'élévation et l'abaissement varie selon la lune. Dans les pleines et nouvelles lunes, l'eau hausse plus que dans les quartiers de la lune; et vers le temps des équinoxes, au mois de mars et de septembre, ce mouvement alternatif de la mer est le plus considérable. On y observe aussi une grande différence, selon la situation des côtes. En quelques endroits le flux ne monte pas au delà de quelques pieds, pendant que dans d'autres il s'élève jusqu'à 40 pieds et au delà. C'est au port de Bristol en Angleterre où les marées sont si grandes.

Il est aussi à remarquer que ce phénomène s'observe principalement dans l'Océan, où l'eau a une très-grande étendue, et que dans les mers bornées ou resserrées, comme la mer Baltique et la Méditerranée, il est peu considérable. L'intervalle du flux au reflux suivant n'est pas aussi précisément de 6 heures, mais environ de 11 minutes de plus; en sorte que les mêmes changements ne répondent pas le lendemain aux mêmes heures, mais qu'ils arrivent de 3 quarts d'heure plus tard; et ce n'est qu'au terme de 30 jours qu'ils reviennent à la même heure, ce qui est précisément le temps d'une révolution de la lune ou d'une nouvelle lune à la suivante.

26 septembre 1760.

LETTRE LXIII.

Des différents sentiments des philosophes sur le flux et reflux de la mer.

Lorsque l'eau de la mer s'élève ou devient plus haute en quelque endroit, il ne faut pas s'imaginer que l'eau y soit enflée par quelque qualité interne, comme le lait, par exemple, se gonfle étant mis dans un vaisseau sur le feu. L'élévation de la mer est causée par un accroissement réel de l'eau qui y coule d'autre part. C'est un vrai courant, qu'on remarque fort bien sur la mer, qui amène les eaux dans les lieux où le flux arrive. Pour mieux comprendre cela, on n'a qu'à considérer que dans la grande étendue de l'Océan il y a toujours des endroits où l'eau est basse, pendant que dans d'autres elle est haute; et c'est de ces endroits-là d'où l'eau est actuellement transportée dans ceux-ci. Donc, lorsque l'eau hausse en quelque endroit, il y a toujours un courant qui amène l'eau des

autres lieux où l'eau baisse en même temps. C'est donc une erreur de s'imaginer, comme font quelques auteurs, que pendant le flux de la mer la masse totale de l'eau devient plus grande, et qu'elle diminue pendant le reflux. La masse ou le volume de la mer entière demeure toujours le même, mais il y règne un mouvement de *réciprocation* par lequel l'eau est alternativement transportée de certaines régions dans d'autres; et lorsque l'eau est haute quelque part, il y a certainement des endroits où elle est basse; de sorte que l'accroissement, dans les lieux où l'eau est haute, est précisément égal au décroissement dans ceux où elle est basse. Ce sont ces phénomènes du flux et reflux de la mer, dont les anciens philosophes ont en vain tâché de découvrir la cause. Le grand Aristote en fut si surpris, lorsqu'il était avec Alexandre-le-Grand aux Indes-Orientales, qu'il voulut poursuivre la retraite de la mer dans le reflux; mais le retour des eaux dans le flux suivant le surprit tellement, qu'il en fut noyé et qu'on n'a pu savoir quelles spéculations il peut avoir faites dans cette funeste expérience. Kepler, qui d'ailleurs était un très-grand astronome et l'ornement de l'Allemagne, a cru que la terre, de même que tous les corps célestes, était un véritable animal vivant, et a regardé le flux et le reflux de la mer comme l'effet de sa respiration. Selon ce philosophe, les hommes et les bêtes étaient comme des insectes ou des poux qui se nourrissaient sur la peau du grand animal. Votre Altesse me dispense aisément de réfuter ce sentiment bizarre. Descartes, ce grand philosophe français, a tâché d'introduire plus de lumière dans la philosophie, et a remarqué que le flux et le reflux de la mer se réglait principalement sur le mouvement de la lune, ce qui était déjà sans contredit une très-grande découverte, quoique les anciens eussent déjà soupçonné cette liaison entre ces deux phénomènes. Car si la haute mer, par exemple, ou le flux, arrive aujourd'hui à midi, la mer sera basse à 6 heures 11 minutes du soir; elle montera 22 minutes après minuit, et baissera de nouveau à 6 heures 33 minutes le matin du lendemain; et la haute mer ou le flux suivant arrivera trois quarts d'heure après midi du lendemain; de sorte que d'un jour à l'autre les mêmes marées retardent de trois quarts d'heure. Or, comme la même chose se trouve précisément dans le mouvement de la lune, qui se lève toujours trois quarts d'heure plus tard que le jour précédent, il était à présumer que les marées suivaient le cours de la lune. Si dans quelque endroit, par exemple le jour de la nouvelle lune, la haute mer arrive à 3 heures après midi, on peut être assuré qu'à l'avenir, tous les jours de la nouvelle lune, la haute mer arrivera constamment à

3 heures après midi, et que les jours suivants elle retardera toujours de 3 quarts d'heure. De plus, non-seulement le temps où chaque flux et reflux arrive suit exactement la lune, mais aussi la grandeur des marées, qui est variable, se trouve dans une liaison très-étroite avec la lune. Les marées sont partout les plus fortes après la nouvelle et la pleine lune, c'est-à-dire que dans ces temps-là l'élévation de l'eau est plus grande que dans les autres temps; et après le premier et dernier quartier, l'élévation de l'eau pendant le flux est la plus petite. Cette belle harmonie entre les marées et le mouvement de la lune suffit sans doute pour conclure que la principale cause du flux et du reflux de la mer doit être cherchée dans la lune. Aussi Descartes croyait-il que la lune, en passant au-dessus de nous, pressait l'atmosphère ou l'air qui environne la terre, et que l'air pressait à son tour sur l'eau et la faisait baisser. Dans ce cas, il aurait donc fallu que l'eau fût basse dans les endroits au-dessus desquels se trouve la lune, et qu'elle fît le même effet 12 heures après dans la marée suivante, ce qui n'arrive pourtant pas. Outre cela, la lune est trop éloignée de la terre, et l'atmosphère trop basse, pour que la lune puisse l'atteindre; et quand même la lune ou quelque autre grand corps passerait par l'atmosphère, il s'en faut beaucoup qu'elle en fût pressée, et moins encore la mer ressentirait-elle cette pression prétendue. Cet effort de Descartes pour expliquer le flux et le reflux de la mer n'a donc point eu de succès; mais la liaison de ce phénomène avec le mouvement de la lune, que ce philosophe a si bien développée, a mis ses successeurs en état d'y employer plus heureusement leurs lumières. C'est ce dont j'aurai l'honneur de parler dans la suite à Votre Altesse.

30 septembre 1760.

LETTRE LXIV.

Explication détaillée de ce phénomène du flux et reflux de la mer par la force attractive de la lune.

La méthode de Descartes pour expliquer le flux et reflux de la mer par la pression de la lune sur notre atmosphère, n'ayant point eu de succès, il était plus raisonnable d'en chercher la cause dans l'attraction que la lune exerce sur la terre et conséquemment aussi sur la mer. La force attractive de tous les corps célestes étant déjà suffisamment constatée par d'autres phénomènes, comme j'ai eu l'hon-

neur de le faire voir à Votre Altesse, on ne saurait douter que le flux et reflux de la mer n'en soit une suite. Dès que nous établissons, en effet, que la lune, ainsi que les autres corps célestes, a la force d'attirer à soi tous les corps en raison de leur masse, et réciproquement en raison du carré de leur distance, on comprend aisément que la mer, comme un corps fluide, ne saurait être insensible à l'action de cette force, d'autant plus que Votre Altesse aura pu souvent remarquer que la moindre force est capable d'agiter un fluide. Il s'agit seulement d'examiner si la force attractive de la lune, telle que nous la supposons, est effectivement capable de produire dans la mer l'agitation que nous connaissons sous le nom de flux et reflux.

Je suppose que la *fig.* 35 [1] représente la terre et la lune, A est le lieu où l'on voit la lune au-dessus de la terre. B est le lieu directement opposé où se trouvent les Antipodes; et C marque le centre de la terre. Maintenant, puisque le point A est plus proche de la lune que le point B, un corps en A est plus fortement attiré vers la lune qu'un corps semblable placé en B; et si nous supposons un troisième corps semblable au centre de la terre C, il est clair que le corps A sera plus fortement attiré vers la lune que le corps C, et que le corps B y sera moins attiré que le corps C, puisque le corps A est plus proche, et que le corps B est plus éloigné de la lune que le corps C. Or, des corps semblables situés en E et en F sont presque autant attirés vers la lune que celui qui se trouve au centre de la terre C, puisqu'ils se trouvent environ à la même distance de la lune que le corps C. Nous voyons par là que tous les corps de la terre ne sont donc pas également attirés vers la lune. L'inégalité d'attraction dépend de l'inégalité de leur distance au centre de la lune L, de sorte qu'un corps de la terre est d'autant plus fortement attiré par la lune qu'il en est plus proche, et que l'attraction est d'autant plus petite qu'il en est plus éloigné. C'est à cette inégalité de forces, dont les corps diversement situés sur la terre sont attirés vers la lune, qu'il faut ici principalement faire attention; car si tous les corps étaient attirés également vers la lune, ils obéiraient également à cette force, et il n'arriverait aucun dérangement dans leur situation mutuelle. Que Votre Altesse se représente plusieurs chariots traînés par des forces parfaitement égales, ils poursuivront leur route, en sorte qu'ils conserveront toujours entre eux le même ordre et les mêmes distances; mais dès que quelques chariots marcheront plus vite, et d'autres plus lentement, l'ordre sera troublé. Il en est de même des divers corps de la terre, qui sont attirés par la lune. Si tous ces corps étaient également attirés, ils conserveraient

1. Voyez la figure, p. 171.

entre eux la même situation, et nous n'y apercevrions aucun dérangement; mais dès que les forces dont ils sont attirés à la lune seront inégales, leur ordre et leur situation mutuelle seront changés; pourvu que ces corps ne soient pas attachés entre eux par des liens que ces forces ne pourraient pas rompre, ce qui ne saurait arriver dans des corps fluides, tels que la mer. La raison en est que tout corps fluide a nécessairement cette propriété, que toutes ses parties se séparent aisément les unes des autres, et que chacune peut obéir librement aux impressions qui l'agitent. Il est donc clair que dès que les forces qui agissent sur les diverses parties de la mer ne sont pas égales entre elles, il doit naître une agitation et un dérangement dans son assiette ordinaire. Or, on vient de voir que les diverses parties de la mer sont inégalement attirées vers la lune, suivant qu'elles sont inégalement éloignées du centre de la lune; d'où il suit que la mer doit être agitée par la force de la lune, et que la lune changeant continuellement de situation à l'égard de la terre, et faisant autour d'elle sa révolution en vingt-quatre heures et trois quarts environ, la mer doit éprouver les mêmes changements et les mêmes phénomènes, après l'intervalle de vingt-quatre heures et trois quarts, ou que le flux et le reflux doivent retarder d'un jour à l'autre de trois quarts d'heure; ce qui est d'accord avec l'expérience. Il s'agit à présent de montrer comment l'élévation et la dépression alternatives de la mer, qui se succèdent par un intervalle de six heures et onze minutes, résultent de l'inégalité des forces de la lune; et c'est ce que je me propose d'examiner dans la suite.

4 octobre 1760.

LETTRE LXV.

Continuation.

La lune, ainsi que Votre Altesse vient de voir, ne cause aucune altération dans l'état de la terre, qu'autant qu'elle agit inégalement sur ses diverses parties. La raison en est que si toutes ses parties éprouvaient la même action, elles en seraient aussi également entraînées, et il n'en résulterait aucun changement dans leur situation mutuelle.

Mais un corps en A (*fig.* 35), étant plus proche de la lune que le centre de la terre C, y est aussi plus fortement attiré qu'un corps en C; donc il y approchera aussi plus vite que le corps en C. Il arrive nécessairement par là que le corps A s'éloigne du centre C vers la lune;

de même que s'il y avait deux chariots en A et en C, et que le chariot en A fût tiré vers L avec plus de force que celui qui est en C, le chariot A s'éloignerait du chariot C. D'où il est clair que la force de la lune tend à éloigner le point A du centre C. Or, éloigner un corps du centre de la terre, est la même chose que l'élever; et puisqu'il s'agit ici de l'eau qui serait en A, il est certain que la force de la lune tend à élever l'eau qui est en A, et cela par une force égale à l'excès dont le point A est plus fortement attiré vers la lumière que le centre C. C'est donc avec cette force que la lune élève les eaux qui se trouvent immédiatement au-dessous d'elle sur la terre. A présent, considérons aussi un corps en B, opposé directement au point A. Ce corps étant moins attiré par la lune qu'un corps semblable situé au centre de la terre C, ce centre s'approchera plus de la lune que le point B, qui restera pour ainsi dire en arrière, de même qu'un chariot qui marcherait plus lentement que celui qui le précède. L'effet qui en résulte sera que le point C s'éloignera du centre C, et qu'il s'élèvera, puisque s'éloigner du centre de la terre n'est autre chose que s'élever. D'où il est évident que la force de la lune tend à élever les eaux, non-seulement celles qui se trouvent en A, mais aussi celles qui sont directement opposées en B, et celles-ci par une force égale à la différence dont le point B est moins attiré vers la lune que le centre C. Or, ceux qui sont en A ont directement la lune au-dessus d'eux, ou bien dans leur zénith; et ceux qui sont en B ne voient point du tout la lune, qui occupe alors un lieu dans le ciel directement opposé à leur zénith, et qui se nomme ***nadir***. On comprend donc qu'en quelque endroit de la mer que ce soit, l'eau doit s'élever, tant lorsque la lune se trouve au zénith de l'endroit qu'à son nadir, ou tant lorsque la lune se trouve le plus élevée au-dessus de l'horizon, que lorsqu'elle est le plus au-dessous du même horizon. Dans les temps moyens, lorsque la lune est à l'horizon même, en se levant ou se couchant, elle n'exerce aucune force pour élever la mer; il résulte même alors une petite force contraire qui tend à la faire baisser. Suivant ce système, dans un endroit de la mer où la lune est au zénith, sa force tend à élever l'eau; environ 6 heures après, lorsqu'elle est parvenue à l'horizon, sa force tend à la faire baisser; 12 heures 22 minutes ensuite, la lune, se trouvant à la plus grande profondeur au-dessous de l'horizon, exerce la même force

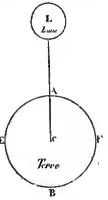


Fig. 35.

pour élever l'eau, et 18 heures 33 minutes encore après, elle remonte sur l'horizon, en faisant baisser l'eau, jusqu'à ce qu'enfin, après 24 heures et 45 minutes depuis le premier terme, elle retourne au zénith du ciel, où elle recommence à élever l'eau comme elle l'avait fait le jour précédent; et c'est ce qui s'accorde parfaitement avec les expériences. Ces alternatives d'élévation et de dépression de la mer, par des intervalles de 6 heures et 11 minutes, ayant une si grande conformité avec le mouvement de la lune, ne permettent pas de douter que le flux et reflux de la mer ne soit causé par la force attractive de la lune. La circonstance la plus remarquable est que la lune agit également sur la mer en l'élevant, soit qu'elle se trouve à la plus grande hauteur au-dessus de l'horizon, ou à la plus grande profondeur au-dessous du même horizon. Ce qui d'abord a paru fort étrange aux philosophes, qui s'imaginaient que la lune sous l'horizon dût produire un effet contraire à celui qu'elle produit au zénith; mais Votre Altesse verra très-clairement comment il arrive que, dans ces deux positions directement opposées, la lune produit le même effet, puisque, dans la *fig.* 35, j'ai démontré que l'effet de la lune est le même en A qu'en B.

7 octobre 1760.

LETTRE LXVI.

Continuation.

D'après ce que j'ai eu l'honneur de dire à Votre Altesse sur le flux et reflux de la mer, elle verra que le système de Newton, que j'ai suivi, est directement contraire à celui de Descartes. Selon ce dernier, la lune agit par pression, et la mer devrait baisser aux endroits situés directement sous la lune; au lieu que, selon Newton, la lune agit par attraction, et fait élever l'eau dans les mêmes lieux. L'expérience déciderait donc lequel de ces deux systèmes pouvait être admis. On n'aurait qu'à consulter les observations faites dans le grand Océan, pour voir si l'eau monte ou descend, quand la lune se trouve au zénith de cet endroit. On y a eu recours effectivement, mais on a remarqué que, lorsque la lune se trouve au zénith ou au nadir d'un lieu donné, l'eau n'y est ni haute ni basse, et que la haute mer n'arrive que quelques heures après que la lune a passé par le zénith : d'où des gens, qui n'examinent pas à fond les choses, ont d'abord fait la conclusion que ni l'un ni l'autre de ces deux systèmes

n'était recevable; et les cartésiens en ont tiré quelque avantage, croyant que si celui de Newton était rejeté, celui de Descartes devait nécessairement être admis, quoique l'observation rapportée soit aussi contraire au système de Descartes qu'elle paraît l'être à celui de Newton. Cependant le système de Descartes est renversé par ce seul phénomène, que la mer se trouve toujours dans le même état après un terme de 12 heures 22 minutes, ou que l'état de la mer est le même, soit que la lune se trouve au-dessus ou au-dessous de l'horizon; et il est impossible à ses défenseurs de montrer comment la lune, étant sur les têtes de nos antipodes, peut produire le même effet que lorsqu'elle se trouve au-dessus de nos têtes. On va le voir par la *fig.* 36.

Il est certain par l'expérience que l'état de l'eau en A est le même, soit que la lune se trouve en M, où est son zénith, ou qu'elle soit en N, le nadir de A, et par conséquent le zénith des antipodes en B. Il faut donc que l'effet de la lune sur l'eau en A soit le même dans l'un et l'autre cas. Or, si la lune agit par pression, comme Descartes le prétend, il s'ensuit que la lune étant en M doit faire baisser l'eau en A, et que si elle est en N, il est impossible que l'eau en A éprouve la même pression. Mais dans le système d'attraction, au contraire, il est incontestable que l'action de la lune doit être à peu près la même, soit que la lune se trouve en M ou en N; et c'est ce que font voir les observations. On peut se souvenir ici de l'explication que j'ai donnée ci-dessus, et que je répéterai, parce qu'elle est de la dernière importance. Lorsque la lune est en M, le point A lui est plus proche que le centre C : donc, il est plus fortement attiré que le centre C; donc, le point A s'éloignera du centre; donc, il s'élèvera ; donc, la lune étant en M tend à élever les eaux en A. Voyons à présent ce que fera la lune en N, où elle parvient 12 heures 22 minutes après avoir été en M. Puisque le point A est plus éloigné de la lune en N que le centre C, il y sera plus faiblement attiré : donc, le centre C s'avancera plus vite vers que le point A; donc, la distance AC deviendra plus grande; donc, le point A sera plus éloigné du centre C; or, s'éloigner du centre de la terre, est la même chose que monter : par conséquent, la lune étant en N fait monter le point A, ou tend à élever les eaux en A, de la même manière que si la lune était en M. L'expérience cependant forme ici une grande objection, puisqu'on observe que, lorsque la lune est en M, ou en N, l'eau en A ne se trouve pas à sa

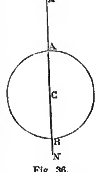


Fig. 36.

plus grande élévation : elle n'y arrive que quelque temps après; et par cette raison quelques-uns n'ont pas hésité de rejeter tout à fait cette explication. Mais Votre Altesse comprendra facilement que ce jugement est précipité. Je n'ai pas dit que, lorsque la lune est en M ou en N, les eaux en A se trouvent à la plus grande hauteur; j'ai dit simplement que la force de la lune tend alors à faire monter les eaux. Or, les eaux ne sauraient monter en A, sans que leur quantité ne soit augmentée; il faut donc qu'elles y coulent d'autres endroits, et même fort éloignés : il faut du temps pour qu'une quantité suffisante d'eau se soit accumulée; donc, il est très-naturel que la haute mer en A ne saurait arriver que quelque temps après que la lune sera passée par M ou N. Donc, tant s'en faut que cette observation renverse notre système, qu'elle le confirme au contraire. Il est sans doute que la force qui tend à élever la mer doit précéder sa plus grande élévation, et même d'un temps assez considérable, puisque les eaux doivent y couler d'endroits fort éloignés, c'est-à-dire de ceux où l'eau est basse, pendant qu'elle est haute en A. Si les eaux doivent passer par des détroits, ou qu'elles rencontrent d'autres obstacles dans leur courant, la haute mer en sera d'autant plus retardée; et si dans l'océan la haute mer arrive en A deux heures après que la lune a passé par M ou N, dans les mers plus resserrées elle n'arrive que trois et plusieurs heures après : ce qui s'accorde parfaitement avec les observations.

11 septembre 1760.

LETTRE LXVII.

Continuation.

Votre Altesse ne doit plus avoir aucun doute que le flux et reflux de la mer ne soit causé par la force attractive de la lune; mais il reste encore une difficulté à lever, qui est, que cette agitation de la mer est beaucoup plus considérable aux temps des nouvelles et pleines lunes, qu'elle ne l'est au temps des quartiers de la lune. Si la lune était plus proche de la terre lorsqu'elle est nouvelle ou pleine que lorsqu'elle est dans les quartiers, il n'y aurait point de difficulté, puisqu'un plus grand voisinage augmenterait la force de la lune. Mais quoique la lune s'approche tantôt plus, tantôt moins de la terre, la différence serait toujours trop petite pour produire un changement si considérable dans le flux et reflux de la mer. Outre cela, cette différence ne se règle pas sur les nouvelles et pleines

lunes; et il peut arriver que la lune, étant dans ses quartiers, nous soit plus proche que lorsqu'elle est pleine ou nouvelle. Il faut donc recourir à une cause qui soit capable d'augmenter le flux et reflux de la mer dans les nouvelles et pleines lunes, et de le diminuer dans les quartiers. Or, le système d'attraction nous découvre d'abord cette cause. C'est la force attractive du soleil qui, jointe à celle de la lune, fournit l'explication complète de tous les phénomènes que le flux et le reflux de la mer nous présentent. En effet, tout ce que j'ai exposé sur la force de la lune pour mettre la mer en agitation est aussi applicable au soleil, dont la force attractive agit pareillement sur toutes les parties de la terre, en attirant plus fort celles qui lui sont proches que celles qui sont plus éloignées. La force du soleil est même beaucoup plus grande que celle de la lune, puisqu'elle règle principalement le mouvement de la terre, et lui fait parcourir son orbite. Mais quant à l'agitation qu'elle occasionne dans la mer, elle dépend de l'inégalité de ces forces, en tant que les points de la surface de la terre sont plus ou moins attirés vers le soleil que son centre, ainsi que je l'ai déjà fait voir en expliquant l'action de la lune. La raison en est, que si toutes les parties de la terre étaient également attirées, il ne résulterait aucun changement dans leur situation mutuelle. Or, quoique la force du soleil soit beaucoup plus grande que celle de la lune, l'inégalité, par rapport aux diverses parties de la terre, est néanmoins plus petite. A cause de la grande distance du soleil, qui est environ 300 fois plus éloigné de la terre que la lune, la différence qui se trouve entre les forces dont le centre de la terre et les points de sa surface sont attirés vers le soleil, est donc très-petite; et après en avoir fait le calcul, on trouve que cette différence est environ trois fois plus petite que l'inégalité entre les forces de la lune; d'où l'on voit que la seule force attractive du soleil serait aussi capable de causer le flux et reflux de la mer, mais qui serait environ trois fois plus petit que celui qui est causé par la lune. De là il est évident que le flux et le reflux de la mer est une production compliquée, tant de la force de la lune que de celle du soleil; ou qu'il y a effectivement deux marées, dont l'une est causée par la lune et l'autre par le soleil; celle-là est nommée la *marée lunaire*, et celle-ci la *marée solaire*. Celle de la lune, qui est environ trois fois plus grande, suit le mouvement de la lune, et retarde d'un jour à l'autre de trois quarts d'heure; et celle qui suit le mouvement du soleil répondrait toujours aux mêmes heures du jour, si elle existait seule, ou s'il n'y avait point de lune. Ces deux marées, la lunaire et la solaire ensemble, produisent le flux et le reflux de

la mer qu'on observe actuellement; mais comme l'une et l'autre séparément font élever et baisser alternativement la mer, quand il arrive que ces deux causes opèrent conjointement à hausser et baisser la mer, le flux et le reflux de la mer devient d'autant plus considérable; mais quand l'une tend à élever la mer pendant que l'autre la fait baisser au même endroit, de sorte que leurs effets sont contraires, alors l'une sera diminuée par l'autre, ou la marée lunaire sera diminuée par la solaire. Donc, selon que ces deux marées sont d'accord ensemble, ou l'une contraire à l'autre, le flux et le reflux de la mer sera d'autant plus ou moins considérable. Or, puisque dans les nouvelles lunes le soleil et la lune se trouvent aux mêmes lieux du ciel, leurs effets sont parfaitement d'accord ensemble, et le flux et reflux de la mer doit devenir le plus grand, étant égal à la somme de deux marées. La même chose aura aussi lieu dans les pleines lunes, lorsque la lune est opposée au soleil; puisque nous savons que la lune produit le même effet, quoiqu'elle se trouve en deux lieux directement opposés du ciel; donc, le flux et reflux doit être le plus grand tant dans les nouvelles que dans les pleines lunes. Dans le premier et dernier quartier de la lune il arrive le contraire. Lorsque la marée lunaire élève les eaux, la solaire les abaisse, et réciproquement; d'où il est clair que dans ces temps le flux et reflux doit être le plus petit, comme on le remarque aussi par les observations. On peut encore faire voir, par le calcul, que l'effet tant de la lune que du soleil est un peu plus grand lorsque ces corps se trouvent dans l'équateur du ciel, ou qu'ils sont également éloignés des deux pôles du monde, ce qui arrive au temps des équinoxes, vers la fin des mois de mars et de septembre; et on observe aussi que dans ces saisons, les marées sont les plus violentes. Il ne reste donc plus aucun doute que les marées, ou le flux et reflux de la mer, ne soient causés par la force attractive tant de la lune que du soleil, en tant que ces forces agissent inégalement sur les diverses parties de la mer; et l'heureuse explication de ce phénomène, qui avait si fort embarrassé nos ancêtres, confirme entièrement le système d'attraction, ou gravitation universelle, sur lequel est fondé le mouvement de tous les corps célestes.

14 octobre 1760.

LETTRE LXVIII.

Exposition plus détaillée de la dispute des philosophes sur la cause de la gravitation universelle.

Après avoir donné à Votre Altesse une idée générale, mais complète, des forces qui produisent les principaux phénomènes dans le monde, et sur lesquelles sont fondés les mouvements de tous les corps célestes, il sera important de considérer plus exactement ces forces que le système d'attraction renferme. On suppose, dans ce système, que tous les corps s'attirent mutuellement, en raison de leur masse et par rapport à leur distance, suivant la loi que j'ai eu l'honneur d'expliquer à Votre Altesse. L'heureuse explication de la plupart des phénomènes de la nature prouve suffisamment que cette supposition est très-solidement fondée ; de sorte qu'on peut regarder comme un fait le mieux constaté, que tous les corps s'attirent actuellement les uns aux autres. Il s'agit à présent d'approfondir la véritable source de ces forces attractives, ce qui appartient plutôt à la métaphysique qu'aux mathématiques ; et je ne saurais me flatter d'y réussir aussi heureusement.

Puisqu'il est certain qu'en considérant deux corps quelconques, l'un est attiré vers l'autre, on demande la cause de ce penchant mutuel; c'est là-dessus que les sentiments sont fort partagés. Les philosophes anglais soutiennent que c'est une propriété essentielle de tous les corps de s'attirer mutuellement; que c'est comme un penchant naturel que tous les corps ont les uns pour les autres, en vertu duquel les corps s'efforcent de s'approcher mutuellement, comme s'ils étaient pourvus de quelque sentiment ou désir. D'autres philosophes regardent ce sentiment comme absurde et contraire aux principes d'une philosophie raisonnable. Ils ne nient pas le fait ; ils tombent même d'accord qu'il y a actuellement au monde des forces qui poussent les corps les uns vers les autres; mais ils soutiennent que ces forces agissent de dehors sur les corps, et qu'elles se trouvent dans l'éther, ou cette matière subtile qui environne tous les corps, de même que nous voyons qu'un corps plongé dans un fluide en peut recevoir plusieurs impressions pour le mettre en mouvement. Donc, selon les premiers, la cause de l'attraction réside dans les corps mêmes et dans leur propre nature ; et, selon les derniers, cette cause réside hors des corps, dans le fluide subtil qui les environne. Dans ce cas, le nom d'attraction serait peu

propre ; il faudrait alors plutôt dire que les corps sont poussés les uns vers les autres. Mais puisque l'effet est le même, soit que deux corps soient poussés ou attirés réciproquement, le seul nom d'attraction ne doit pas choquer, pourvu qu'on ne veuille pas par là décider sur la nature même de la cause. Pour éviter toute confusion que la façon de parler pourrait causer, on devrait plutôt dire que les corps du monde se meuvent de la même manière, comme s'ils s'attiraient mutuellement les uns les autres. Par là on laisserait indécis si les forces qui agissent sur les corps résident dans les corps mêmes ou hors d'eux. Par cette manière de parler, l'un et l'autre parti pourrait être content. Arrêtons-nous aux corps que nous rencontrons sur la surface de la terre. Personne ne saurait douter que tous ces corps ne tombassent en bas dès qu'ils ne seraient plus soutenus, et c'est sur la véritable cause de cette chute que roule la question. Les uns disent que c'est la terre qui attire ces corps, par une force qui lui appartient en vertu de sa nature ; les autres disent que c'est l'éther, ou autre matière subtile et invisible qui pousse les corps en bas, de sorte que l'effet est néanmoins le même dans l'un et l'autre cas. Le dernier sentiment plaît davantage à ceux qui aiment des principes clairs dans la philosophie, puisqu'ils ne voient pas comment deux corps éloignés l'un de l'autre peuvent agir l'un sur l'autre, à moins qu'il n'y ait quelque chose entre eux. Les autres recourent à la toute-puissance divine, et soutiennent que Dieu a revêtu tous les corps d'une force capable de s'attirer mutuellement. Quoiqu'il soit dangereux de vouloir disputer sur ce que Dieu aurait pu faire, il est néanmoins certain que si l'attraction était un ouvrage immédiat de la toute-puissance divine, sans être fondée dans la nature des corps, ce serait la même chose si l'on disait que Dieu pousse immédiatement les corps les uns vers les autres, ce qui serait des miracles continuels. Supposons qu'avant la création du monde Dieu n'eût créé que deux corps éloignés l'un de l'autre, qu'il n'existât hors d'eux absolument rien, et que ces corps fussent en repos : serait-il bien possible que l'un s'approchât de l'autre, ou qu'ils eussent un penchant à s'approcher? comment l'un sentirait-il l'autre dans l'éloignement? comment pourrait-il avoir un désir de s'en approcher? Ce sont des idées qui révoltent : mais dès qu'on suppose que l'espace entre les corps est rempli d'une matière subtile, on comprend d'abord que, si cette matière peut agir sur les corps en les poussant, l'effet serait le même que s'ils s'attiraient mutuellement. Puisque nous savons donc que tout l'espace entre les corps célestes est rempli d'une matière subtile qu'on

nomme l'éther, il semble plus raisonnable d'attribuer l'attraction mutuelle des corps a une action que l'éther y exerce, quoique la manière nous soit inconnue, que de recourir à une qualité inintelligible. Les anciens philosophes se sont contentés d'expliquer les phénomènes du monde par ces sortes de qualités qu'ils ont nommées *occultes*, en disant, par exemple, que l'opium fait dormir par une qualité occulte qui le rend propre à procurer le sommeil; c'était ne rien dire du tout, ou plutôt c'était vouloir cacher son ignorance : on devrait donc aussi regarder comme une qualité occulte l'attraction, en tant qu'on la donne pour une propriété essentielle des corps; mais comme aujourd'hui l'on tâche de bannir de la philosophie toutes les qualités occultes, l'attraction considérée dans ce sens doit être aussi bannie.

18 octobre 1760.

DEUXIÈME PARTIE.

LETTRE PREMIÈRE.

Sur la nature et l'essence des corps; ou bien sur l'étendue, la mobilité et l'impénétrabilité des corps.

La dispute métaphysique, si les corps peuvent être doués d'une force interne de s'attirer les uns les autres, sans qu'ils soient poussés par une force externe, ne saurait être terminée sans entrer dans une discussion plus particulière sur la nature des corps en général. Comme cette matière est de la dernière importance, non seulement dans les mathématiques et la physique, mais aussi dans toute la philosophie, Votre Altesse ne trouvera pas mauvais que je m'étende un peu sur ce sujet.

D'abord on demande ce que c'est qu'un corps? Quelque absurde que paraisse cette question, puisque personne n'ignore la différence qui se trouve entre ce qui est corps et ce qui n'est pas corps, il est pourtant difficile d'approfondir les vrais caractères qui constituent la nature des corps. Les cartésiens disent que la nature des corps consiste dans l'étendue, de sorte que tout ce qui est étendu soit aussi un corps. Ils entendent bien une étendue à trois dimensions; et ils sont assez bons géomètres pour savoir qu'une seule dimension, ou une étendue selon la seule longueur, ne donne qu'une ligne, et que deux dimensions où il n'y a que longueur et largeur, ne forment qu'une surface qui n'est pas encore un corps. Pour constituer un corps, il faut donc avoir trois dimensions, et tout corps doit avoir une longueur, une largeur et une profondeur ou épaisseur, c'est-à-dire une étendue à trois dimensions. Mais on demande en même temps si tout ce qui a cette étendue est un corps? ce qui devrait être si la définition de Descartes était juste. L'idée que le peuple se forme des spectres renferme bien une étendue, et cependant on nie que ce soient des corps. Quoique cette idée soit purement imaginaire, elle sert pourtant à prouver que quelque chose pourrait être étendu sans être un corps. Outre cela, l'idée que nous avons de l'espace renferme sans doute une étendue à trois dimensions; et néanmoins on convient que l'espace seul n'est

pas encore un corps, il ne fait que fournir les lieux que les corps occupent et remplissent. Supposons que tous les corps qui se trouvent à présent dans ma chambre, et même l'air qui y est, soient anéantis par la toute-puissance divine, et il y aura encore dans ma chambre la même longueur, largeur et profondeur, sans qu'il y ait aucun corps. Voilà donc la possibilité du moins d'une étendue qui ne serait pas corps. Un tel espace sans corps est nommé un *vide*, et un vide est donc une étendue sans corps. Aussi dit-on, suivant la superstition du peuple, que par exemple un spectre a bien une étendue, mais le corps ou la corporalité lui manque; d'où il est clair qu'il ne suffit pas d'être étendu, qu'il faut encore quelque chose de plus pour constituer un corps, d'où suit que la définition des cartésiens n'est pas suffisante. Mais qu'est-ce qui est requis, outre l'étendue, pour former un corps? On répond que c'est la mobilité, ou la possibilité d'être mis en mouvement; car quoiqu'un corps soit en repos, et qu'il s'y tienne très-ferme, il serait pourtant possible de le mouvoir, pourvu qu'il y eût des forces suffisantes. On exclut par là l'espace de la classe des corps; puisqu'on comprend que l'espace qui ne sert qu'à recevoir les corps demeure immobile, quelque mouvement que puissent avoir les corps qui y sont contenus. On dit aussi que par le mouvement les corps sont transportés d'un lieu dans un autre; par où l'on donne à entendre que les lieux et l'espace demeurent inaltérables : cependant ma chambre, avec le vide que j'ai supposé ci-dessus, pourrait bien être mue, et l'est même en effet, puisqu'elle est emportée par le mouvement qui emporte la terre elle-même; voilà donc un vide qui serait en mouvement sans être corps. Aussi la superstition suppose-t-elle du mouvement aux spectres, ce qui suffit pour prouver que la mobilité et l'étendue ne constituent pas seules la nature du corps. Il faut quelque chose de plus, il faut de la matière pour constituer un corps; ou plutôt on nomme *matière* ce qui distingue un corps réel d'une simple étendue ou d'un spectre. Nous voilà donc réduits à expliquer ce que c'est que la matière, sans laquelle une étendue ne saurait être corps. Or, la signification de ces deux termes est tellement la même, que tout corps est matière et que toute matière est corps, de sorte que nous ne sommes guère avancés. Cependant on découvre aisément un caractère général qui convient à toute matière, et par conséquent à tout corps; c'est l'*impénétrabilité*, l'impossibilité d'être pénétré par d'autres corps, ou bien l'impossibilité que deux corps occupent à la fois le même lieu. En effet, c'est l'impénétrabilité qui manque au vide ou aux spectres, pour n'être pas corps; et si un spectre,

quelque imaginaire qu'il soit, était impénétrable, c'est-à-dire si on n'y pouvait passer la main sans y rencontrer quelques obstacles, on ne douterait pas de ranger ce spectre dans la classe des corps; mais dès qu'on le regarde comme pénétrable, on nie sa corporalité. Peut-être objectera-t-on qu'on peut passer la main par l'eau et par l'air, qui sont pourtant reconnus pour être des corps; ce seraient donc des corps pénétrables, et l'impénétrabilité ne serait donc pas un caractère nécessaire des corps. Mais il faut bien remarquer que, quand on passe la main par l'eau, les particules de l'eau cèdent à la main, et là où est la main il n'y a plus d'eau. Si la main pouvait passer par l'eau, de sorte que l'eau n'échappât point à la main, et qu'elle demeurât dans le même lieu où se trouve la main, alors l'eau serait pénétrable; mais il est clair que cela n'arrive point. Donc, tous les corps sont impénétrables, ou un corps exclut toujours du lieu qu'il occupe tous les autres corps; et dès qu'un autre corps entre dans ce lieu, il faut absolument que le premier le quitte. C'est ainsi qu'il faut entendre le terme d'impénétrabilité.

21 octobre 1760.

LETTRE II.

Sur l'impénétrabilité des corps en particulier.

Votre Altesse peut-être m'objectera, contre l'impénétrabilité des corps, l'exemple d'une éponge qui, étant plongée dans l'eau, en paraît entièrement pénétrée; mais il s'en faut beaucoup que les particules de l'éponge soient tellement pénétrées, qu'une particule d'eau se trouve avec une particule de l'éponge au même lieu. On sait plutôt que l'éponge est un corps fort poreux, et qu'avant d'être mise dans l'eau, ses pores sont remplis d'air; aussitôt que l'eau entre dans les pores de l'éponge, l'air en est chassé par l'eau, et monte en forme de petites bulles; de sorte que dans ce cas il n'arrive aucune pénétration, ni de l'air par l'eau, ni de l'eau par l'air, celui-ci s'échappant toujours des lieux où l'eau entre. C'est donc une propriété générale et essentielle de tous les corps, d'être impénétrables; et par conséquent on doit convenir de la justesse de cette définition : qu'un corps est une étendue impénétrable, puisque non seulement tous les corps sont étendus et impénétrables, mais aussi réciproquement que tout ce qui est étendu, et en même temps impénétrable, est sans contredit un corps. Par là le vide est exclu de la classe des corps; car, quoiqu'il ait de l'étendue, l'im-

pénétrabilité lui manque; et où il y a du vide, on y peut mettre des corps, sans que rien soit chassé de sa place : et on n'exclut un spectre, quoique imaginaire, de la classe des corps, que parce qu'il est pénétrable; car dès qu'on s'imaginerait qu'un spectre fût impénétrable, on devrait lui accorder une place parmi les corps. Il faut encore lever une autre difficulté qu'on fait contre l'impénétrabilité des corps. Il y a, dit-on, des corps qui se laissent comprimer dans un moindre espace, comme par exemple la laine, et surtout l'air, duquel nous savons qu'il se laisse comprimer dans un espace jusqu'à mille fois plus petit. Il semble donc que les diverses particules d'air sont réduites dans le même lieu, et qu'elles se pénètrent par conséquent mutuellement : rien de cela cependant, car l'air est aussi un corps, ou une matière remplie de pores, qui sont ou vides, ou pleins de ce fluide incomparablement plus subtil, qu'on nomme l'éther. Dans le premier cas, il ne se fera aucune pénétration, puisque les particules d'air ne font que s'approcher davantage entre elles, en diminuant les vides; et dans l'autre cas, l'éther trouve assez de petits passages pour échapper quand les pores sont comprimés et que les particules d'air s'approchent, toujours cependant sans se pénétrer mutuellement. C'est aussi la raison pour laquelle il faut employer une plus grande force, quand on veut comprimer l'air davantage : et s'il était possible de le comprimer au point que toutes ses particules se touchassent, alors il serait impossible de le comprimer davantage, quelque force qu'on y voulût employer; et cela, par cette raison qu'une plus grande compression demanderait une pénétration de la propre matière de l'air. C'est donc une loi nécessaire et fondamentale dans la nature, que deux corps ne sauraient se pénétrer mutuellement, ou être réduits dans le même lieu; et c'est d'après ce principe qu'il faut chercher la véritable source de tous les mouvemens, et des changements que nous observons dans le mouvement de tous les corps. Dès que deux corps ne sauraient continuer leur mouvement sans se pénétrer, il faut absolument que l'un fasse place à l'autre. Ainsi, si deux corps se meuvent sur une même ligne, l'un à gauche l'autre à droite, comme il arrive souvent au billard; si chacun continuait son mouvement, ils devraient se pénétrer mutuellement; mais puisque cela est impossible, dès que les deux corps viennent à se toucher, il se fait un choc par lequel le mouvement de chaque corps est changé presque subitement; et ce choc n'est opéré dans la nature que pour prévenir la pénétration. Le mouvement de chaque corps n'est précisément changé qu'autant qu'il le faut pour empêcher toute pénétration; et c'est en cela que consiste la

véritable cause de tous les changements qui arrivent dans le monde. Quand on considère attentivement tous ces changements, on trouve toujours qu'ils arrivent afin de prévenir quelque pénétration, qui aurait dû se faire si ces changements n'étaient point arrivés. Au moment que j'écris ces lignes, je remarque que si le papier était pénétrable, ma plume le traverserait librement sans écrire; mais comme le papier soutient la pression de ma plume humectée d'encre, le papier en reçoit quelques parties d'où sont formées ces lettres; ce qui n'arriverait pas si les corps se pénétraient. Cette propriété de tous les corps, connue sous le nom d'impénétrabilité, est donc non seulement de la dernière importance à l'égard de toutes nos connaissances, mais elle contient aussi le grand ressort par lequel la nature opère toutes ses productions. Elle mérite donc d'être attentivement examinée, pour pouvoir expliquer plus clairement à Votre Altesse tant la nature des corps, que les principes de tous les mouvements qu'on nomme les *lois du mouvement*, tant vantées par les philosophes.

25 octobre 1760.

LETTRE III.

Du mouvement et du repos vrais et apparents.

Tout corps est en repos ou en mouvement. Quelque évidente que paraisse cette distinction, il est presque impossible de juger si un corps se trouve dans l'un ou l'autre état. Le papier que je vois sur ma table me semble effectivement en repos; mais quand je réfléchis que la terre tout entière se meut avec une vitesse aussi grande que j'ai eu l'honneur de le faire voir à Votre Altesse, il faut absolument que ma maison, avec ma table et ce papier, soient emportés par le même mouvement : ainsi tout ce qui nous paraît être en repos a véritablement le même mouvement que la terre. Il faut donc distinguer entre le vrai repos et le repos apparent. Le vrai repos est lorsqu'un corps demeure constamment dans le même lieu, non par rapport à la terre, mais par rapport à l'univers. Ainsi, si les étoiles fixes demeuraient toujours aux mêmes lieux de l'univers, elles seraient en repos, quoiqu'elles semblent se mouvoir bien rapidement; mais comme on n'en est pas certain, on ne peut pas dire que les étoiles fixes se trouvent dans un vrai repos. Ce qu'on nomme repos apparent est lorsqu'un corps conserve la même situation sur la terre; on dit alors qu'il est en repos, mais il faut l'entendre d'un repos apparent. Il est à présumer aussi que ces termes

de repos et de mouvement se sont introduits dans la langue pour marquer plutôt l'apparence que la vérité; et dans ce sens je puis hardiment dire que ma table est en repos, de même que toute la terre, et que le soleil et les étoiles fixes sont en mouvement, et même dans un mouvement fort rapide, quoiqu'ils soient peut-être véritablement en repos. Ce serait donc attribuer aux termes des idées étrangères et purement philosophiques, que de vouloir les confondre avec ceux de vrai repos et de vrai mouvement; et il est fort ridicule d'employer, comme font quelques-uns, des passages de l'Ecriture sainte, pour prouver que la terre est en repos et le soleil en mouvement. Toutes les langues sont introduites pour l'usage du peuple, et les philosophes sont obligés de se former une langue particulière. Puisque nous ne saurions juger du repos vrai, il est très-naturel que nous jugions en repos les corps qui conservent la même situation à l'égard de la terre, comme il est très-vraisemblable que les habitants des autres planètes jugent aussi du repos par la même situation à l'égard de leur planète. Nous voyons que ceux qui voyagent par mer estiment en repos les choses qui conservent la même situation à l'égard de leur vaisseau, et que les côtes qu'ils découvrent leur semblent être en mouvement, sans qu'on puisse leur faire des reproches sur cette manière de parler. Il y a donc une grande différence entre le repos et le mouvement vrais ou absolus, et le repos et le mouvement apparents, ou relatifs à un corps qu'on considère alors comme s'il était en repos, quoique peut-être il soit en mouvement. Les principes ou lois du mouvement se rapportent principalement à l'état absolu des corps, c'est-à-dire à leur repos ou à leur mouvement vrai ou absolu. Pour découvrir ces lois, on commence par considérer un seul corps, abstraction faite de tous les autres, comme s'ils n'existaient point. Cette hypothèse, quoique impossible, peut faire distinguer ce qui est opéré par la nature du corps même, de ce que d'autres corps peuvent opérer sur lui. Soit donc un corps seul et en repos, on demande s'il demeurera en repos, ou s'il commencera à se mouvoir? Comme il n'y a aucune raison qui le porte à se mouvoir d'un côté plutôt que d'un autre, on conclut qu'il demeurera toujours en repos. La même chose doit arriver, supposant l'existence d'autres corps, pourvu qu'ils n'agissent pas sur le corps en question; d'où suit cette loi fondamentale : *Quand un corps se trouve une fois en repos, et qu'il n'y a rien au dehors qui agisse sur lui, ce corps demeurera toujours en repos; et s'il commençait à se mouvoir, la cause de son mouvement serait hors de lui, de sorte qu'il n'y a rien dans le corps même qui soit capable de le mettre en*

mouvement. Donc, quand nous voyons qu'un corps qui a été en repos commence à se mouvoir, nous pouvons être assurés que ce mouvement a été causé par une force externe, puisqu'il n'y a rien dans le corps même qui soit capable de le mettre en mouvement, et que ce corps, s'il était seul et sans communication avec d'autres corps, serait toujours resté en repos. Quelque fondée que soit cette loi, qui pourrait aller de pair avec les vérités géométriques, il y a des gens, peu accoutumés à examiner les choses, qui prétendent que l'expérience y est contraire. Ils allèguent l'exemple d'un fil auquel est suspendue une pierre qui est en repos, mais qui tombe dès qu'on coupe le fil. Il est certain, disent-ils, que l'action par laquelle on coupe le fil n'est pas capable de faire mouvoir la pierre ; il faut donc que la pierre tombe par une force qui lui est propre et interne. Le fait est certain, mais il est aussi clair que la gravité est la cause de la chute, et non une force interne qui serait dans la pierre. Mais ils continuent, et disent que la gravité pourrait être une force intrinsèque attachée à la nature de la pierre. Il faut remarquer sur cela que la gravité est produite, ou par une matière subtile, ou par l'attraction de la terre. Dans le premier cas, c'est certainement cette matière subtile qui cause la chute de la pierre ; dans le second, qui paraît favorable à nos adversaires, on ne saurait dire non plus que la pierre tombe par une force qui lui est intrinsèque; c'est plutôt la terre qui en contient la cause, et opère la chute de la pierre par sa force attractive; car s'il n'y avait point de terre, ou si la terre était dépouillée de sa force attractive, ils conviennent que la pierre ne tomberait pas. Il est donc toujours certain que la cause de la chute ne réside pas dans la pierre même; c'est donc toujours une cause externe, soit qu'elle se trouve dans la matière subtile ou dans la terre, supposé qu'elle soit douée d'une force attractive, comme les partisans de l'attraction le prétendent. Cette difficulté levée, la loi que je viens d'établir subsiste, savoir, qu'un corps, une fois en repos, y demeurera toujours, à moins qu'il ne soit mis en mouvement par quelque cause qui lui soit étrangère. Cette loi doit avoir lieu, pourvu que le corps ait été pendant un seul instant en repos, quoiqu'il se soit auparavant trouvé en mouvement; et dès qu'il a été une fois réduit au repos, il conservera toujours cet état de repos, à moins qu'il ne survienne quelque cause étrangère qui le mette en mouvement. Ce principe étant le fondement de toute la mécanique, il était nécessaire de le constater le plus solidement qu'il m'a été possible.

28 octobre 1760.

LETTRE IV.

Du mouvement uniforme, et des mouvements accélérés et retardés.

Je reviens à notre corps, tellement placé, qu'il n'a point de liaison avec aucun autre corps. Supposons maintenant que ce corps ait reçu quelque mouvement, par quelque cause que ce soit, il s'agit de savoir ce qui lui arrivera dans la suite; si ce corps continuera à se mouvoir, ou s'il sera réduit au repos, et cela subitement ou après quelque temps? Votre Altesse comprend bien que cette question est fort importante, et que toutes les recherches que nous faisons sur le mouvement des corps en dépendent. Examinons si par la voie du raisonnement nous pouvons parvenir à la décision de cette question. Comme le repos est la demeure d'un corps au même endroit, de même le mouvement est le passage d'un lieu dans un autre; et lorsqu'un corps passe d'un lieu dans un autre, on dit qu'il est en mouvement. Or, il y a deux choses à distinguer en tout mouvement, la direction et la vitesse. La direction est le lieu vers lequel le corps est porté par le mouvement, et la vitesse est cette qualité bien connue par laquelle on dit qu'un corps parcourt dans un certain temps plus ou moins d'espace. Je suis assuré que Votre Altesse a sur cela des idées plus justes que je ne pourrais lui en fournir par une plus ample explication. Je remarque seulement que tant qu'un corps conserve la même direction, il se meut selon une ligne droite; et réciproquement, tant qu'un corps se meut selon une ligne droite, il conserve la même direction; mais que quand un corps se meut suivant une ligne courbe, il change continuellement de direction.

Si donc un corps se meut dans la ligne courbe ABC (*fig.* 37), lorsqu'il est en A, sa direction est la petite ligne A*a*; lorsqu'il est en B, sa direction est la petite ligne B*b*; et en C, la petite ligne C*c*. On prolonge alors aussi ces petites lignes, dont les continuations sont marquées par les lignes droites ponctuées AL, BM, CN; et l'on dit que lorsque le corps passe par A, sa direction est la ligne droite AL, puisque si le corps conservait la même direction qu'il a en A, il serait mu selon la ligne droite

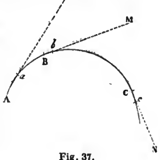


Fig. 37.

AL. Il est donc clair qu'il ne se meut par la ligne courbe qu'autant qu'il change continuellement sa direction. De même quand il parvient en B et en C, la direction dont il s'écarte est exprimée par les lignes droites BM et CN.

Quant à la vitesse du mouvement dans un corps, Votre Altesse comprend aisément ce que c'est que de conserver toujours la même vitesse; cela arrive lorsque le corps se meut toujours également, ou qu'il parcourt en temps égaux des chemins égaux. Ce mouvement s'appelle *uniforme*. Ainsi, si par exemple un corps se meut en sorte qu'il parcoure toujours dix pieds pendant chaque seconde, on dit que ce mouvement est uniforme; si un autre corps parcourait vingt pieds par seconde, son mouvement serait aussi uniforme, mais sa vitesse serait deux fois plus grande que la précédente. De ce que je viens de dire sur le mouvement uniforme, il est aisé de comprendre ce que c'est qu'un mouvement qui n'est pas uniforme; car lorsque la vitesse d'un corps n'est pas égale, son mouvement n'est pas uniforme. En particulier, quand la vitesse d'un corps va en augmentant, son mouvement se nomme *accéléré;* et quand elle diminue continuellement, on dit que son mouvement est *retardé*. Dans ce dernier cas, il pourrait arriver que la vitesse diminuât tellement, que le corps serait enfin en repos.

Ces remarques établies sur la vitesse et la direction, je reviens au corps isolé, que je suppose mis en mouvement par quelque cause que ce soit. Lorsqu'il a commencé à se mouvoir, il aura eu une certaine direction et une certaine vitesse; et l'on demande si dans la suite il conservera la même direction et la même vitesse, ou s'il souffrira quelque altération? On ne saurait dire qu'il sera réduit au repos dès le premier instant, car dans ce cas il n'aurait eu aucun mouvement, tout mouvement supposant une durée, quelque petite qu'elle soit. Or, tant que le mouvement dure, il est certain que la direction demeurera la même : en effet, on ne saurait concevoir pourquoi le corps se détournerait de sa route d'un côté plutôt que d'un autre; donc, puisque rien n'arrive sans raison, il s'ensuit que le corps en question conservera toujours la même direction, ou que son mouvement se fera sur une ligne droite, ce qui est déjà un grand article pour décider la question. De la même manière on soutient aussi que la vitesse du corps dont je parle ne saurait changer, parce qu'il faudrait qu'elle augmentât ou qu'elle diminuât; mais il n'y aurait aucune raison qui pourrait produire un tel changement; d'où l'on conclut que ce corps continuera toujours à se mouvoir avec la même vitesse et suivant la même direction, ou qu'il marchera continuellement suivant une

ligne droite sans s'en détourner jamais, et qu'il marchera toujours également vite. Ce mouvement se fera donc toujours sur une ligne droite et avec une égale vitesse, sans jamais être ralenti ou retardé; donc le corps ne sera jamais réduit au repos. Ce que j'ai dit d'un corps, que j'ai supposé seul, arriverait de même à notre monde, si d'autres corps n'y avaient aucune influence, puisque alors il en serait de même que s'ils n'existaient pas. Voilà donc la question résolue : un corps qui est en mouvement conservera toujours ce mouvement avec la même direction et la même vitesse, à moins qu'il ne survienne quelque cause externe capable de troubler le corps dans la continuation de son mouvement. Donc, tant qu'un corps n'est pas soumis à l'action de quelque cause externe, il demeurera en repos s'il a été une fois en repos, ou il sera mu suivant une ligne droite toujours avec la même vitesse, s'il a été mis une fois en mouvement; et c'est la première et la principale loi de la nature sur laquelle doit être fondée toute la science du mouvement. De là, nous tirons d'abord cette conséquence, que toutes les fois que nous voyons se mouvoir un corps qui était en repos, ou un corps qui se meut selon une ligne courbe, ou dont la vitesse change, il est certain alors qu'une cause externe agit sur ce corps. Aucun changement, ni dans la direction, ni dans la vitesse, ne saurait arriver, sans qu'il soit opéré par une cause externe.

1er novembre 1760.

LETTRE V.

De la principale loi du mouvement et du repos, et sur les disputes des philosophes à cet égard.

Quelque solidement établie que soit la vérité de ce principe, que tout corps, étant mis en mouvement, continue à se mouvoir avec la même direction et la même vitesse, à moins qu'il ne survienne quelque cause extérieure qui dérange ce mouvement, elle est néanmoins attaquée par quelques philosophes qui n'ont jamais fait de grands progrès dans la science du mouvement, pendant que ceux auxquels nous sommes redevables de toutes les grandes découvertes qui ont été faites dans cette science, conviennent unanimement que toutes leurs recherches sont uniquement fondées sur ce principe. Il est combattu par deux sectes de philosophes, dont je vais exposer et réfuter les objections.

Les uns disent que tous les corps ont un penchant naturel pour le repos, que ce repos est leur état naturel, et que le mouvement

est pour eux un état violent; de sorte que quand un corps est mis en mouvement, il incline par sa propre nature à retourner à l'état de repos, et qu'il fait des efforts pour arrêter le mouvement, sans y être forcé par quelque cause externe ou étrangère. Ils allèguent en preuve l'expérience, selon eux si convaincante, que nous ne connaissons aucun mouvement dans la nature, où l'on ne remarque très-visiblement cette répugnance naturelle. Ne voyons-nous pas, disent-ils, sur le billard, qu'avec quelque force que nous poussions une bille, son mouvement se ralentit assez promptement, et qu'elle rentre bientôt dans le repos? Une horloge aussi, dès que son mouvement n'est plus entretenu par la force externe dont elle est montée, s'arrête et est en repos. En général, on remarque dans toutes les machines que leur mouvement ne dure pas plus long-temps que les forces externes dont elles sont agitées. De là ils concluent que tant s'en faut qu'un corps mis en mouvement conserve le même mouvement par sa propre nature, qu'il faut au contraire employer des forces étrangères pour entretenir son mouvement. Si cette conclusion était juste, Votre Altesse comprend bien que notre principe serait renversé de fond en comble, puisque, en vertu de ce principe, la bille et les machines mentionnées, étant une fois mises en mouvement, devraient conserver toujours le même mouvement, à moins que des causes externes n'y occasionnassent quelque changement. Ainsi, dans les expériences rapportées, s'il n'y avait point de causes externes qui arrêtassent le mouvement, nons serions bien obligés d'abandonner notre principe. Mais dès que nous faisons attention à toutes les circonstances, nous rencontrons tant d'obstables qui s'opposent au mouvement, que nous ne saurions plus être surpris de voir que ces mouvements soient sitôt éteints. En effet, sur le billard, c'est premièrement le frottement qui diminue le mouvement de la bille, qui ne saurait s'avancer sans se frotter sur le drap. Ensuite l'air lui-même, étant une matière, cause aussi quelque résistance capable de diminuer le mouvement des corps : pour s'en convaincre, on n'a qu'à passer fort vite la main par l'air pour sentir cette résistance. De là il est clair que sur le billard c'est le frottement et la résistance de l'air qui s'opposent au mouvement de la bille, et qui la réduisent bientôt au repos. Or, ces causes sont externes, et l'on comprend que sans ces obstacles, le mouvement de la bille devrait durer toujours. Il en est de même dans toutes les machines où le frottement qui agit sur les diverses parties est si considérable, qu'il est visiblement une cause très-suffisante pour réduire bientôt la machine au repos. Ayant donc découvert les véritables causes qui opèrent dans les

cas allégués, l'extinction du mouvement; puisque ces causes sont externes et hors du corps qui est en mouvement, il est donc faux que les corps aient de leur nature un penchant pour le repos. Notre principe subsiste donc, et acquiert même par les objections susmentionnées de nouvelles forces: tout corps conserve donc toujours le même mouvement qu'il a une fois reçu, à moins que des causes étrangères ne surviennent, et n'en changent la direction ou la vitesse, ou toutes les deux à la fois. Nous voilà donc délivrés d'une partie de ces adversaires qui attaquaient notre principe.

Les autres sont plus à craindre, puisque ce sont les fameux philosophes wolfiens. Ils ne se déclarent pas ouvertement contre notre principe, pour lequel même ils témoignent beaucoup de respect, mais ils avancent d'autres principes qui lui sont directement contraires. Ils soutiennent que tout corps, en vertu de sa propre nature, fait des efforts continuels pour changer son état, c'est-à-dire que lorsqu'il est en repos il fait des efforts pour se mouvoir; et que s'il est en mouvement, il fait des efforts pour changer continuellement de vitesse et de direction. Ils n'allèguent rien en preuve de ce sentiment, si ce n'est quelque raisonnement creux, tiré de leur métaphysique, dont j'aurai l'occasion de parler un jour à Votre Altesse. Je remarque ici seulement que ce sentiment est contredit par le principe que nous avons si solidement établi, et par l'expérience, qui est parfaitement d'accord avec ce principe. En effet, s'il est vrai qu'un corps en repos demeure, en vertu de sa nature, dans cet état, il est sans doute faux qu'il fasse, en vertu de sa nature, des efforts continuels pour changer d'état. De même, s'il est vrai qu'un corps en mouvement conserve, en vertu de sa nature, ce mouvement avec la même direction et la même vitesse, il est absolument faux que ce même corps, en vertu de sa nature, fasse des efforts continuels pour changer son mouvement. Donc ces philosophes, en voulant soutenir en même temps le vrai principe du mouvement et leur sentiment absurde, se contredisent eux-mêmes, et renversent par là leur propre système de philosophie. Il demeure donc incontestable que notre principe est le plus solidement fondé dans la nature même des corps, et que tout ce qui est contraire doit être banni de la véritable philosophie; et ce même principe nous met en état de purger la philosophie de quantité d'illusions. Or, on énonce communément ce principe par deux propositions, dont l'une porte, qu'*un corps étant une fois en repos, demeure éternellement en repos, à moins qu'il ne soit mis en mouvement par quelque cause externe ou étrangère*. L'autre proposition porte, qu'*un corps étant une fois en mouvement, conservera toujours éternellemene ce mouve-*

ment avec la même direction et la même vitesse, ou bien sera porté d'un mouvement uniforme suivant une ligne droite, à moins qu'il ne soit troublé par quelque cause externe ou étrangère. C'est en ces deux propositions que consiste le fondement de toute la science du mouvement qu'on nomme mécanique.

4 novembre 1760.

LETTRE VI.

Sur l'inertie des corps et sur les forces.

Comme on dit qu'un corps, tant qu'il est en repos, demeure aussi dans le même état, on dit aussi d'un corps en mouvement, qu'autant qu'il se meut avec la même vitesse et selon la même direction, il demeure dans le même état. Ainsi demeurer dans le même état ne signifie autre chose que rester en repos, ou conserver le même mouvement. Cette manière de parler s'est introduite, pour énoncer plus succinctement notre grand principe, que tout corps, en vertu de sa nature, se conserve dans le même état, jusqu'à ce qu'une cause étrangère vienne troubler cet état, c'est-à-dire, ou de mettre le corps en mouvement lorsqu'il est en repos, ou de changer son mouvement. Il ne faut pas s'imaginer que la conservation d'état, dans un corps, renferme la demeure au même lieu : cela arrive bien lorsque le corps est en repos; mais lorsqu'il se meut avec la même vitesse et selon la même direction, on dit également qu'il demeure dans le même état, quoiqu'il change de lieu à tout moment. Cette remarque est nécessaire pour ne pas confondre le changement de lieu avec le changement d'état. Si l'on demande à présent pourquoi les corps demeurent dans le même état, il faut dire que cela arrive en vertu de leur propre nature. Tous les corps, en tant qu'ils sont composés de matière, ont nécessairement cette propriété de demeurer dans le même état, à moins qu'ils n'en soient détournés par quelque cause externe. C'est là donc une propriété fondée dans la nature des corps, par laquelle ils tâchent de se conserver dans le même état, soit que ce soit l'état de repos ou de mouvement. Cette qualité dont tous les corps sont doués, et qui leur est essentielle, se nomme *inertie*, et convient aussi nécessairement à tous les corps que l'étendue et l'impénétrabilité; de sorte qu'il serait impossible qu'il y eût un corps sans inertie. Ce terme d'*inertie* a d'abord été introduit dans la philosophie, par ceux qui soutenaient que tout corps avait un penchant pour le repos. Ils envisageaient les corps comme des

hommes paresseux, qui préfèrent le repos au travail, et attribuaient aux corps une horreur pour le mouvement, semblable à celle que les hommes paresseux ont pour le travail, le terme d'inertie signifiant à peu près la même chose que celui de paresse. Mais quoiqu'on ait depuis reconnu la fausseté de ce sentiment, et que les corps se soutiennent également dans leur état de mouvement comme dans celui de repos, on a retenu le même mot d'inertie, pour marquer en général la propriété de tous les corps de se conserver dans le même état, soit de repos, soit de mouvement. On ne saurait donc concevoir l'inertie, sans une répugnance pour tout ce qui tiendrait à faire changer le corps d'état; car puisqu'un corps, en vertu de sa nature, conserve le même état tant de mouvement que de repos, et qu'il n'en saurait être détourné que par des causes externes, il s'ensuit que, pour qu'un corps change d'état, il faut qu'il y soit forcé par quelque cause étrangère, et que sans cela il demeurerait toujours dans le même état. De là vient qu'on donne à cette cause externe le nom de *force* : c'est un terme dont on se sert communément, quoique beaucoup de ceux qui l'emploient n'en aient qu'une idée fort imparfaite. Votre Altesse verra, par ce que je viens de dire, que le nom de force signifie tout ce qui est capable de changer l'état des corps. Ainsi, quand un corps qui a été en repos, est mis en mouvement, c'est une force qui a produit cet effet, et quand un corps en mouvement change ou de direction ou de vitesse, c'est aussi une force qui a causé ce changement. Tout changement de direction ou de vitesse dans le mouvement d'un corps demande ou une augmentation, ou une diminution des forces. Ces forces sont donc toujours hors du corps dont l'état est changé, attendu que nous avons vu qu'un corps abandonné à lui-même conserve toujours le même état, à moins qu'une force de dehors n'agisse sur lui. Or, l'inertie par laquelle le corps tend à se conserver dans le même état existe dans le corps même, et en est une propriété essentielle. Donc, lorsqu'une force externe change l'état de quelque corps, l'inertie, qui voudrait le maintenir dans le même état, s'oppose à l'action de la force; et de là on comprend que l'inertie est une qualité susceptible de mesure, ou que l'inertie d'un corps peut être plus grande ou plus petite que celle d'un autre corps. Or, les corps sont doués d'inertie, en tant qu'ils renferment de la matière. C'est même de l'inertie, ou de la résistance qu'ils opposent à tout changement d'état, que nous jugeons de la quantité de matière d'un corps; et de là l'inertie d'un corps est d'autant plus grande qu'il contient plus de matière. Aussi savons-nous qu'il faut plus de force pour changer l'état d'un grand corps que

d'un petit, et c'est de là que nous jugeons que le grand corps contient plus de matière que le petit. On peut même dire que cette seule circonstance, c'est-à-dire l'inertie, nous rend sensible la matière. Il est donc clair que l'inertie est une quantité, et qu'elle est la même que la quantité de matière qu'un corps contient : et puisqu'on nomme aussi la quantité de matière d'un corps sa *masse*, la mesure de l'inertie est la même que la mesure de la masse. Voilà donc à quoi se réduit notre connaissance des corps en général. Premièrement, nous savons que tous les corps ont une étendue à trois dimensions; en second lieu, qu'ils sont impénétrables : et de là résulte la propriété générale de tous les corps, connue sous le nom d'inertie, par laquelle les corps se conservent dans leur état; c'est-à-dire que quand un corps est en repos, c'est par son inertie qu'il demeure en repos; et que quand il est en mouvement, c'est aussi par son inertie qu'il continue à se mouvoir avec la même vitesse et selon la même direction; et cette conservation du même état dure jusqu'à ce qu'il survienne une force extérieure qui y cause quelque changement. Toutes les fois que l'état d'un corps est changé, il n'en faut jamais chercher la cause dans le corps même; elle existe toujours hors du corps, et c'est la juste idée qu'on doit se former d'une force.

8 novembre 1760.

LETTRE VII.

Sur les changements qui peuvent arriver dans l'état des corps.

Le principe fondamental de la mécanique, avec l'idée de l'inertie, que j'ai eu l'honneur d'expliquer à Votre Altesse, nous met en état de raisonner solidement sur quantité de phénomènes qui se présentent dans la nature. En voyant un corps en mouvement, qui marcherait uniformément selon une ligne droite, c'est-à-dire qui conserverait la même direction et la même vitesse, nous dirions que la cause de cette continuation de mouvement ne se trouve pas hors du corps, mais qu'elle est renfermée dans la nature même du corps, et que c'est en vertu de son inertie qu'il demeure dans le même état; tout comme, si le corps était en repos, nous dirions que cela se fait en vertu de son inertie. Nous aurions aussi raison de dire que ce corps n'éprouve l'action d'aucune force externe, ou que s'il y en avait, ces forces se détruisent les unes les autres, de sorte qu'il en serait de même que s'il n'y en avait point. Donc, si l'on demandait pourquoi ce corps continue à se mouvoir de cette manière, la ré-

ponse n'aurait aucune difficulté; mais si l'on demandait pourquoi ce corps avait commencé à se mouvoir ainsi, la question serait tout à fait différente. Il faudrait dire quo ce mouvement lui a été imprimé par quelque force externe, supposé qu'il fût auparavant en repos; mais il ne serait pas possible de rien assurer sur la quantité de cette force, puisque peut-être il n'en reste plus aucune marque. C'est donc une question assez ridicule, que de demander qui a imprimé le mouvement à chaque corps au commencement du monde? ou qui était le premier moteur? Ceux qui font cette question avouent donc un commencement, et conséquemment une création; et ils s'imaginent que Dieu a créé tous les corps en repos. Or, on leur peut répondre que celui qui a créé tous les corps a pu leur imprimer aussi le mouvement. Je leur demande plutôt, à mon tour, s'ils croient plus facile de créer un corps en repos, que de le créer d'abord en mouvement. L'un et l'autre demandent également la toute-puissance de Dieu, et cette question n'est plus du ressort de la philosophie. Mais dès qu'un corps a reçu un mouvement, il se conserve par sa propre nature, ou par son inertie, dans le même état dans lequel il doit demeurer inaltérablement, tant qu'il n'est point troublé par quelque cause étrangère, ou par une force. Donc, toutes les fois quo nous voyons qu'un corps no demeure pas dans le même état, c'est-à-dire, ou qu'un corps en repos commence à se mouvoir, ou qu'un corps en mouvement change de direction ou de vitesse, nous devons dire que ce changement a sa cause hors du corps, et est causé par une force étrangère. Ainsi, puisqu'une pierre, que je lâche de la main, tombe en bas, la cause de cette chute est étrangère au corps, et ce n'est pas par sa propre nature que le corps tombe; c'est une force étrangère, et la mêmo qu'on nomme la *gravité :* donc, la gravité n'est pas une propriété intrinsèque des corps; elle est plutôt l'effet d'une force étrangère, dont il faut chercher la source hors du corps. Cela est géométriquement certain, quoique nous ne connaissions point ces forces étrangères qui causent la gravité. Il en est de même quand on jette la pierro; on voit bien que la pierre ne se meut pas par une ligne droite, ni que sa vitesse demeure toujours la même. C'est aussi cette force étrangère de la gravité qui change dans le corps sans cesse tant sa direction que sa vitesse; sans la gravité, la pierre volerait suivant une ligne droite toujours avec la même vitesse; et si la gravité s'évanouissait subitement pendant le mouvement de la pierre, elle continuerait à se mouvoir uniformément selon une ligne droite, et elle conserverait la même direction et la même vitesse qu'elle aurait eue à l'instant où la gravité a cessé d'agir. Mais puisque la gravité dure toujours, et qu'elle agit sur tous

les corps, on ne doit pas être surpris qu'on ne rencontre point de mouvement où la direction et la vitesse demeurent les mêmes; le cas du repos peut bien avoir lieu quand on tient un corps si fort qu'il le faut pour empêcher la chute; c'est ainsi que le plancher de ma chambre me soutient, et empêche que je ne tombe dans la cave. Mais aussi les corps qui nous paraissent en repos sont emportés par le mouvement de la terre, lequel n'étant ni rectiligne ni uniforme, on ne saurait dire que ces corps demeurent dans le même état. Aussi parmi les corps célestes il ne s'en trouve aucun qui se meuve en ligne droite, et toujours avec la même vitesse : donc, ils changent continuellement leur état, et même les forces qui causent ce changement continuel ne nous sont pas inconnues; ce sont les forces attractives dont les corps célestes agissent les uns sur les autres. J'ai déjà remarqué que ces forces pourraient bien être causées par la matière subtile qui environne tous les corps célestes en remplissant tout l'espace du ciel; mais aussi, suivant le sentiment de ceux qui regardent l'attraction comme une force inhérente à la matière, cette force est toujours étrangère au corps sur lequel elle agit. Ainsi, quand on dit que la terre est attirée vers le soleil, on avoue que la force qui agit sur la terre ne réside pas dans la terre même, mais qu'elle a sa source dans le soleil; puisqu'en effet, si le soleil n'existait pas, cette force serait nulle. Cependant ce sentiment, que l'attraction est essentielle à toute matière, est assujetti à tant d'autres inconvénients, qu'il n'est pas presque possible de lui accorder une place dans une philosophie raisonnable. Il vaut toujours mieux de croire que ce qu'on nomme *attraction* est une force renfermée dans la matière subtile qui remplit tout l'espace du ciel, quoique nous n'en sachions pas la manière. Il faut s'accoutumer à avouer son ignorance sur quantité d'autres choses importantes.

11 novembre 1760.

LETTRE VIII.

Sur le système wolfien des monades.

Ayant fait sentir à Votre Altesse la vérité nécessaire du principe que tous les corps par eux-mêmes se conservent toujours dans le même état, tant de repos que de mouvement, je remarque que si l'on consultait là-dessus la seule expérience, sans approfondir les choses par le raisonnement, on devrait conclure précisément le contraire, et soutenir que tous les corps ont un penchant à changer

continuellement d'état; puisque nous n'observons dans le monde que de tels cas où l'état des corps est continuellement changé. Mais nous venons de remarquer les causes qui produisent ces changements, et nous savons qu'elles ne se trouvent pas dans les corps dont l'état est changé, mais hors d'eux; d'où il s'en faut d'autant plus que le principe que nous avons établi soit contredit par l'expérience, qu'il en est plutôt confirmé. De là Votre Altesse jugera facilement combien se trompent plusieurs grands philosophes, qui, séduits par cette expérience mal entendue, soutiennent que tous les corps sont doués de forces qui les font changer continuellement leur état. C'est ainsi que le grand Wolf a raisonné. Il disait : 1° L'expérience nous fait voir que tous les corps changent perpétuellement d'état; 2° or, tout ce qui est capable de changer l'état d'un corps est appelé une force; 3° donc, tous les corps sont doués d'une force de changer leur état; 4° donc, chaque corps fait des efforts continuels pour changer son état; 5° or, cette force ne convient aux corps qu'en tant qu'ils renferment de la matière; 6° donc, c'est une propriété de la matière de changer continuellement son propre état; 7° or, la matière est un composé d'une multitude de parties qu'on nomme les éléments de la matière; 8° donc, puisque le composé ne saurait rien avoir qui ne soit fondé dans la nature de ses éléments, il faut que chaque élément soit doué d'une force de changer son propre état. Ces éléments sont des êtres simples; car s'ils étaient encore composés de parties, ils ne seraient pas encore des éléments, mais leurs parties le seraient. Or, un être simple est aussi nommé une *monade;* donc, chaque monade a une force de changer continuellement son état. Voilà l'établissement du système des monades, dont peut-être Votre Altesse a déjà entendu parler, quoiqu'il ne fasse plus tant de bruit qu'autrefois; et j'ai désigné par chiffres les propositions sur lesquelles il est fondé, pour pouvoir mieux y rapporter mes réflexions. D'abord, sur les deux premières il n'y a trop rien à dire; mais la troisième est fort équivoque, et, dans le sens où on la prend, elle est tout à fait fausse.

Sans vouloir dire que les forces qui changent l'état des corps proviennent de quelque esprit, je tombe volontiers d'accord que les forces dont l'état de chaque corps est changé subsistent dans les corps, mais bien entendu dans d'autres corps, et jamais dans celui qui souffre le changement d'état, celui-ci ayant plutôt une qualité contraire, qui est de se conserver dans le même état. Donc, en tant que ces forces subsistent dans ces corps, on devrait dire que les corps, en tant qu'ils se trouvent en certaines liaisons entre eux, peuvent fournir des forces par lesquelles l'état d'un autre corps est

changé. De là la proposition quatrième est absolument fausse; et de tout ce qui précède il s'ensuit plutôt que tout corps est doué d'une force de demeurer dans le même état, ce qui est précisément le contraire de ce que les philosophes en ont conclu. Or, je dois remarquer ici que c'est fort mal à propos nommer force cette qualité des corps par laquelle ils demeurent dans leur état; car si l'on comprend sous le mot de force tout ce qui est capable de changer l'état d'un corps, la qualité par laquelle les corps se conservent dans leur état est plutôt le contraire d'une force. C'est donc par abus que quelques auteurs donnent le nom de force à l'inertie, qui est cette qualité, et qu'ils la nomment la force d'inertie. Mais, pour ne pas disputer sur les termes, quoique cet abus puisse précipiter dans des erreurs fort grossières, je retourne au système des monades; et puisque la proposition nº 4 est fausse, les suivantes qui en découlent immédiatement sont aussi nécessairement fausses : donc il est aussi faux que les éléments de matière, ou les monades, s'il y en a, soient pourvues d'une force de changer leur état. Le contraire doit plutôt être vrai, qu'elles ont la qualité de se conserver dans le même état; et par là tout le système des monades est entièrement renversé. Ils voulaient par là ramener les éléments de matière dans la classe des êtres, qui comprend les esprits et les âmes, qui ont sans contredit une faculté de changer d'état; car, par exemple, pendant que j'écris, mon âme se représente continuellement d'autres objets, et ces changements sont fondés dans mon âme même, et nullement hors d'elle. Je n'en suis que trop convaincu, ei je suis même le maître de mes pensées; pendant que tous les changements qui arrivent dans un corps sont produits par une force étrangère. Que Votre Altesse ajoute encore à ceci la différence infinie qui se trouve entre l'état d'un corps, lequel ne renferme qu'une vitesse et une direction, et les pensées d'une âme; et elle sera entièrement convaincue de la fausseté des sentiments des matérialistes, qui prétendent qu'un esprit n'est qu'un certain mélange de quelque matière. Ces sortes de gens n'ont aucune connaissance de la véritable nature des corps; cependant presque tous les esprits forts adoptent ce sentiment faux.

15 novembre 1760.

LETTRE IX.

Sur l'origine et la nature des forces.

Il est sans doute fort surprenant que, pendant que chaque corps a une disposition naturelle à se conserver dans le même état, et à s'opposer même à tout changement, tous les corps du monde néanmoins changent perpétuellement leur état. Nous savons bien que ce changement ne saurait arriver sans une force qui a son existence hors du corps dont l'état est changé ; mais où faut-il donc chercher toutes les forces qui opèrent ces changements continuels dans tous les corps du monde, et qui soient encore étrangères au corps? Faudra-t-il donc supposer, outre les corps qui sont dans le monde, encore des êtres particuliers qui contiennent ces forces ; ou les forces mêmes seraient-elles des substances particulières existantes dans le monde? Nous ne connaissons que deux espèces d'êtres qui existent dans le monde, dont l'une comprend tous les corps, et l'autre tous les corps intellectuels, savoir, les esprits et les âmes des hommes avec celles des bêtes : faudrait-il donc, outre les corps et les esprits, établir dans le monde encore une troisième espèce d'êtres qui seraient les forces? ou serait-ce les esprits qui changent continuellement l'état des corps? L'un et l'autre renferment trop d'inconvénients pour qu'on y puisse acquiescer. Car, quoiqu'on ne puisse nier que les âmes des hommes et des bêtes aient un pouvoir de produire des changements dans leurs corps, il serait pourtant absurde de soutenir que le mouvement d'une bille sur le billard fût retardé et réduit au repos par quelque esprit ; ou que la gravité fût opérée par un esprit qui pousserait sans cesse les corps en bas ; ou que les corps célestes, en tant qu'ils changent, dans leur mouvement, de direction et de vitesse, soient soumis à l'action des esprits, comme portait le sentiment de quelques philosophes de l'antiquité, qui ont assigné à chaque corps céleste un esprit ou un ange qui le conduisît dans sa route. Or, en raisonnant solidement sur les phénomènes du monde, il faut convenir qu'à l'exception des corps animés, c'est-à-dire des hommes et des bêtes, tous les changements d'état qui arrivent aux autres corps sont produits par des causes corporelles, auxquelles les esprits n'ont aucune part. Toute la question se réduit donc à examiner si les forces qui changent l'état des corps existent à part, et constituent une espèce particulière d'êtres, ou si elles existent dans les corps. Ce dernier sentiment paraît d'abord

fort étrange; car si tous les corps ont un pouvoir de se conserver dans le même état, comment serait-il possible qu'ils renfermassent en même temps des forces qui tendent à changer cet état? En bien pesant toutes ces difficultés, Votre Altesse ne sera pas surprise que l'origine des forces a de tout temps été la pierre d'achoppement de tous les philosophes. Tous l'ont regardée comme le plus grand mystère dans la nature, qui demeurera toujours caché à la pénétration des mortels. Cependant j'espère de présenter à Votre Altesse une explication si claire de ce prétendu mystère, que toutes les difficultés qui ont paru insurmontables jusqu'ici s'évanouiront entièrement. Je dis donc (ce qui paraîtra bien étrange) que la même faculté des corps, par laquelle ils s'efforcent de se conserver dans le même état, est capable de fournir des forces qui changent l'état des autres. Je ne dis pas qu'un corps change jamais son propre état, mais qu'il peut devenir capable de changer l'état d'un autre corps. Pour mettre Votre Altesse en état d'approfondir ce mystère sur l'origine des forces, il suffira de considérer deux corps (*fig.* 38), comme s'ils existaient seuls au monde.

Que le corps A soit en repos, et que le corps B ait reçu un mouvement suivant la direction BA avec une certaine vitesse. Cela posé, le corps A voudrait toujours rester en repos, et le corps B voudrait continuer son mouvement selon la ligne droite AB, toujours avec la même vitesse, et l'un et l'autre en vertu de son inertie. Il arrivera donc que le corps B parviendra à toucher le corps A; mais alors qu'arrivera-t-il? Tant que le corps A reste en repos, le corps B ne saurait continuer son mouvement sans passer à travers le corps A, c'est-à-dire sans le pénétrer; donc, il est impossible que l'un et l'autre corps se conserve dans son état sans se pénétrer l'un l'autre. Mais il est impossible qu'une telle pénétration se fasse, l'impénétrabilité étant une propriété absolument nécessaire à tous les corps; donc, puisqu'il est impossible que l'un et l'autre corps se conserve dans son état, il faut absolument, ou que le corps A commence à se mouvoir pour faire place au corps B, afin qu'il puisse continuer son mouvement, ou que le corps B étant parvenu à toucher le corps A, soit subitement réduit au repos, ou que l'état de tous les deux soit changé autant qu'il le faut, pour que l'un et l'autre puisse ensuite demeurer dans son état sans se pénétrer mutuellement. Il faut donc absolument que l'un ou l'autre corps, ou que tous les deux, souffrent un changement dans leur état; et la raison ou la

A B

Fig. 38.

cause de ce changement existe infailliblement dans l'impénétrabilité des corps mêmes; donc, puisque toute cause capable de changer l'état des corps est nommée force, c'est nécessairement l'impénétrabilité des corps mêmes qui fournit les forces qui changent leur état. En effet, puisque l'impénétrabilité renferme une impossibilité que les corps se pénètrent mutuellement, chaque corps s'oppose à toute pénétration, quand même elle ne serait que dans les moindres parties; or, s'opposer à la pénétration, n'est autre chose que de déployer les forces nécessaires pour prévenir la pénétration; donc, toutes les fois que deux ou plusieurs corps ne sauraient se conserver dans leur état sans se pénétrer mutuellement, alors leur impénétrabilité déploie toujours les forces nécessaires pour changer leur état, autant qu'il le faut pour qu'il n'arrive aucune pénétration. C'est donc l'impénétrabilité des corps qui renferme la véritable origine des forces qui changent continuellement l'état des corps en ce monde; et c'est le vrai dénoûment du grand mystère qui a tant tourmenté les philosophes.

18 novembre 1760.

LETTRE X.

Sur le même sujet, et sur le principe de la moindre action.

Votre Altesse vient de faire un très-grand pas dans la connaissance de la nature, par l'explication de la vraie origine des forces capables de changer l'état des corps; et maintenant elle peut comprendre aisément pourquoi tous les corps de ce monde sont assujettis à des changements continuels dans leur état, tant de repos que de mouvement. D'abord il est certain que tout le monde est rempli de matière. Nous savons qu'ici-bas tout l'espace qui se trouve entre les corps grossiers que nous pouvons toucher est occupé par l'air, et que quand on tire l'air de quelque espace, c'est l'éther qui succède d'abord à l'air; et que ce même éther remplit aussi tout l'espace du ciel entre les corps célestes. Donc, tout étant ainsi plein, il est impossible qu'un corps en mouvement continue ce mouvement pendant même un instant, sans rencontrer d'autres corps à travers lesquels il devrait passer, s'ils n'étaient pas impénétrables. Donc, puisque cette impénétrabilité des corps déploie toujours et partout des forces pour prévenir toute pénétration, ces mêmes forces doivent continuellement changer l'état des corps; d'où il n'est rien moins que surprenant que nous observions des changements

continuels dans l'état des corps, nonobstant que chaque corps fasse des efforts pour se maintenir dans le même état. Si les corps se laissaient pénétrer librement, rien n'empêcherait que chacun d'eux ne demeurât persévéramment dans son état; mais dès que les corps sont impénétrables, il doit nécessairement résulter des forces suffisantes pour prévenir toute pénétration; et même ces forces n'en résultent qu'en tant qu'il s'agit d'empêcher que les corps ne se pénètrent mutuellement. Quand les corps peuvent continuer leur état sans apporter aucune atteinte à l'impénétrabilité, alors l'impénétrabilité n'exerce aussi aucune force, et les corps restent actuellement dans leur état; et c'est pour prévenir la pénétration que l'impénétrabilité devient active, et fournit des forces suffisantes pour cet effet. Ainsi, quand une petite force est suffisante pour empêcher la pénétration, l'impénétrabilité ne déploie que cette petite force; mais aussi, quelque grande que soit la force requise pour éviter la pénétration, l'impénétrabilité est toujours en état de la fournir. Donc, quoique l'impénétrabilité fournisse ces forces, on ne saurait dire qu'elle soit douée d'une force déterminée; elle est plutôt en état de fournir toutes sortes de forces, tant grandes que petites, selon que les circonstances l'exigent; et elle en est même une source inépuisable. Tant que les corps sont doués de l'impénétrabilité, cette source ne saurait jamais tarir : il faut absolument, ou que ces forces soient excitées, ou que les corps se pénètrent, ce qui serait contraire à la nature. Il faut aussi remarquer que ces forces ne sont jamais l'effet de l'impénétrabilité d'un seul corps; elles résultent toujours de celle de tous les corps à la fois; car, pourvu que l'un des deux corps soit pénétrable, la pénétration se pourrait faire, et il n'y aurait pas besoin de force pour changer l'état des corps. Donc, quand deux corps concourent ensemble, de sorte que tous les deux ne sauraient demeurer dans leur état sans se pénétrer, l'impénétrabilité de tous les deux s'oppose également à la pénétration; et c'est par ces deux conjointement qu'est engendrée la force nécessaire pour empêcher la pénétration : dans ce cas, on dit que ces deux corps agissent l'un sur l'autre, et la force engendrée de leur impénétrabilité opère l'action qu'ils exercent l'un sur l'autre. Cette force agit aussi sur tous les deux corps à la fois; car, comme ils voudraient se pénétrer mutuellement, elle repousse l'un et l'autre, et empêche par là leur pénétration. Il est donc certain que les corps peuvent agir les uns sur les autres; et on parle si souvent de l'action des corps, comme quand deux bilies sur le billard se choquent on dit que l'une agit sur l'autre, que cette manière de parler ne saurait être inconnue à Votre Altesse. Mais il faut bien remarquer

que, en général, les corps n'agissent les uns sur les autres qu'en tant que leur impénétrabilité souffre; et de là il résulte une force capable de changer l'état de chaque corps autant précisément qu'il le faut pour qu'aucune pénétration n'arrive, de sorte qu'une moindre force ne serait pas suffisante pour produire cet effet. Il est bien vrai qu'une plus grande force empêchorait aussi la pénétration; mais dès qu'il n'y a plus de danger que les corps se pénètrent, leur impénétrabilité cesse d'agir : d'où l'on voit qu'il n'en résulte que la plus petite force qui soit encore capable de prévenir la pénétration. Donc, puisque la force est le plus petite, l'effet qu'elle produit, c'est-à-dire le changement d'état qui en est opéré, sera aussi le plus petit possible pour empêcher la pénétration; et conséquemment, quand deux ou plusieurs corps concourent ensemble, de sorte que chacun ne saurait demeurer dans son état sans pénétrer les autres, il y arrive une action mutuelle, et cette action est toujours la plus petite qui soit encore capable d'empêcher la pénétration. C'est donc ici que Votre Altesse trouvera, contre toute attente, le fondement du système de feu M. de Maupertuis, tant vanté et tant contesté. Son principe est celui de la *moindre action*, par lequel il prétend que, dans tous les changements qui arrivent dans la nature, l'action qui les opère est toujours la plus petite qui soit possible. De la manière que j'ai l'honneur de présenter ce principe à Votre Altesse, il est évident qu'il est parfaitement fondé dans la nature même des corps, et que ceux qui le nient ont grand tort, mais pas tant encore que ceux qui s'en moquent. Votre Altesse aura peut-être déjà remarqué que certaines personnes, qui ne sont pas trop amies de M. de Maupertuis, saisissent toutes les occasions pour se moquer du principe de la moindre action, de même que du trou jusqu'au centre de la terre; mais heureusement la vérité n'y souffre rien.

22 novembre 1760.

LETTRE XI.

Sur la question : S'il y a encore d'autres espèces de forces?

L'origine des forces, fondée sur l'impénétrabilité des corps, que j'ai eu l'honneur d'expliquer à Votre Altesse, ne détruit pas le sentiment de ceux qui soutiennent que les âmes des hommes et des bêtes ont un pouvoir d'agir sur leur corps. Rien n'empêche qu'il n'y ait deux espèces de forces qui causent tous les changements dans le monde. L'une

est celle des forces corporelles qui tirent leur origine de l'impénétrabilité des corps; et l'autre, celle des forces spirituelles que les âmes des animaux exercent sur leur corps : mais cette espèce se borne uniquement aux corps animés, que le Créateur a si bien distingués des autres corps, qu'il n'est pas permis de les confondre dans la philosophie. Mais pour l'attraction, en tant qu'on la regarde comme une qualité intrinsèque des corps, elle en reçoit un coup fort rude; car si les corps n'agissent les uns sur les autres que pour maintenir leur impénétrabilité, l'attraction ne saurait être rapportée à ce cas. Deux corps éloignés l'un de l'autre peuvent conserver chacun son état, sans que leur impénétrabilité y soit intéressée; et, par conséquent, il n'y a aucune raison pour que l'un agisse sur l'autre, et cela même en l'attirant à soi. En tout cas, l'attraction devrait être rapportée à une troisième espèce de forces, qui ne seraient ni corporelles ni spirituelles. Or, il est toujours contre les règles d'une philosophie raisonnable d'y introduire une nouvelle espèce de forces, avant que leur existence soit incontestablement démontrée. Pour cet effet, il faudrait avoir prouvé, sans réplique, que les forces dont les corps s'attirent mutuellement ne sauraient tirer leur origine de la matière subtile qui environne tous les corps; mais personne n'a encore prouvé cette impossibilité. Il semble plutôt que le Créateur ait rempli exprès tous les espaces du ciel avec une matière subtile, pour donner naissance à ces forces qui poussent les corps les uns vers les autres, et cela conformément à la loi établie ci-dessus sur l'impénétrabilité des corps. En effet, la matière subtile pourrait bien avoir un mouvement tel, qu'un corps qui s'y trouve ne saurait conserver son état sans en être pénétré; et, dans ce cas, il faudrait bien qu'une telle force fût engendrée de l'impénétrabilité, tant de la matière subtile que du corps même. S'il y avait un seul cas au monde où deux corps s'attirassent sans que l'espace entre eux fût rempli d'une matière subtile, il faudrait bien admettre la réalité de l'attraction; mais ce cas n'existe point, et, par conséquent, on a raison d'en douter, et même de la rejeter. Nous ne connaissons donc que deux sources de toutes les forces qui opèrent ces changements, savoir, l'impénétrabilité des corps et l'action des esprits. Les sectateurs de Wolf rejettent aussi cette dernière, et soutiennent qu'aucun esprit ou substance immatérielle ne peut agir sur un corps; et ils sont fort embarrassés quand on leur dit que, selon eux, Dieu même, étant un esprit, n'aurait pas le pouvoir d'agir sur les corps; ce qui sentirait fort l'athéisme. Aussi n'y donnent-ils que cette réponse bien froide, que c'est à cause de l'infinité que Dieu peut agir sur les corps : mais s'il est impossible à un esprit, en tant

qu'il est esprit, d'agir sur les corps, cette impuissance rejaillit nécessairement sur Dieu même. Ensuite, qui pourrait nier que notre âme n'agisse sur notre corps? Je suis tellement le maître de mes membres, que je puis les mettre en action selon mon gré. La même chose peut se dire aussi des bêtes : et comme on a raison de se moquer des sentiments de Descartes, que toutes les bêtes ne sont que des machines semblables à une montre, sans aucun sentiment, les wolfiens font des hommes mêmes de simples machines.

Or, ces mêmes philosophes, dans leurs spéculations, vont jusqu'à nier aussi la première espèce de forces, dont ils ne connaissent rien du tout. Car, ne pouvant comprendre comment un corps agit sur un autre, ils en nient l'action hardiment, et soutiennent que tous les changements qui arrivent dans un corps sont causés par les propres forces de ce même corps. Ce sont les mêmes philosophes, dont j'ai eu l'honneur de parler à Votre Altesse, qui nient le premier principe de la mécanique sur la conservation du même état; ce qui suffit pour renverser tout leur système. La raison de leur égarement est, comme je l'ai déjà remarqué, qu'ils ont mal commencé à raisonner sur les phénomènes que les corps du monde nous présentent. De ce qu'on voit que presque tous les corps changent continuellement leur état, ils en ont conclu, par précipitation, que tous les corps renferment en eux-mêmes des forces par lesquelles ils s'efforcent à changer leur état sans cesse; au lieu qu'ils en auraient dû conclure le contraire. C'est ainsi qu'en ne considérant les choses que superficiellement, on se précipite dans les erreurs les plus grossières. J'ai déjà fait sentir à Votre Altesse le défaut de ce raisonnement; mais ayant une fois commis cette faute, ils se sont livrés aux sentiments les plus absurdes. D'abord, ils ont transféré ces forces internes aux premiers éléments de la matière, qui, selon eux, font des efforts continuels pour changer leur état; et de là ils ont conclu que tous les changements auxquels chaque élément est assujetti sont produits par sa propre force, et que deux éléments, ou êtres simples, ne sauraient agir l'un sur l'autre. Cela posé, puisque les esprits sont aussi des êtres simples, il fallait les dépouiller de tout pouvoir d'agir sur les corps; pourtant ils en excluent Dieu : et ensuite, puisque les corps sont composés d'êtres simples, ils étaient obligés aussi de nier que les corps puissent agir les uns sur les autres. On avait beau leur objecter le cas des corps qui se choquent, et le changement de leur état qui en est une suite, ils sont trop entêtés de la solidité de leur raisonnement pour l'abandonner; ils aiment mieux dire que chaque corps, par sa propre nature, opère le changement qui lui arrive, et que le choc n'y fait

rien; que ce n'est qu'une illusion qui nous fait croire que le choc en est la cause. De là ils se vantent beaucoup de la sublimité de leur philosophie, que le vulgaire ne saurait comprendre. Votre Altesse est à présent en état d'en porter un jugement très-juste.

25 novembre 1760.

LETTRE XII.

Sur la nature des esprits.

J'espère que Votre Altesse sera convaincue de la solidité des raisonnements par lesquels j'ai établi la connaissance des corps et des forces qui en changent l'état. Tout est fondé sur des expériences les mieux constatées, et sur des principes dictés par la raison. Rien ne s'y trouve de choquant, ou qui soit contredit par d'autres principes également certains. Ce n'est que depuis peu de temps qu'on a réussi dans ces recherches; auparavant on s'est formé des idées si étranges sur la nature des corps, qu'on leur a attribué toutes sortes de forces, dont les unes devaient nécessairement détruire les autres.

Les forces des éléments de matière, qui tendent à changer continuellement leur état, en fournissent un exemple bien remarquable, sans parler de la force attractive, que quelques-uns regardent comme une qualité essentielle de la matière.

Quelques-uns se sont imaginé que même la matière pourrait bien être arrangée en sorte qu'elle eût la faculté de penser. De là sont venus les philosophes qui se nomment *matérialistes*, qui soutiennent que nos âmes et en général tous les esprits sont matériels; ou plutôt ils nient l'existence des âmes et des esprits. Mais dès qu'on atteint la véritable route pour parvenir à la connaissance des corps, qui se réduit à l'inertie, par laquelle les corps demeurent dans leur état, et l'impénétrabilité, qui fournit les forces capables de changer leur état, tous ces fantômes de forces dont je viens de parler s'évanouissent, et rien ne saurait être plus choquant que de dire que la matière soit capable de penser. Penser, juger, raisonner, sentir, réfléchir et vouloir, sont des qualités incompatibles avec la nature des corps; et les êtres qui en sont revêtus doivent avoir une nature tout à fait différente. Ce sont des âmes et des esprits, dont celui qui possède ces qualités au plus haut degré est Dieu.

Il y a donc une différence infinie entre les corps et les esprits. Aux corps il ne convient que l'étendue, l'inertie et l'impénétrabilité,

qui sont des qualités qui excluent tout sentiment, pendant que les esprits sont doués de la faculté de penser, de raisonner, de sentir, de réfléchir, de vouloir, ou de se décider pour un objet plutôt que pour un autre. Ici il n'y a ni étendue, ni inertie, ni impénétrabilité ; ces qualités corporelles sont infiniment éloignées des esprits.

D'autres philosophes, ne sachant à quoi se décider, croient qu'il serait bien possible que Dieu communiquât à la matière la faculté de penser. Ce sont les mêmes qui soutiennent que Dieu a donné aux corps la qualité de s'attirer entre eux. Or, comme cela serait la même chose que si Dieu poussait immédiatement les corps les uns vers les autres, il en serait de même de la faculté de penser communiquée aux corps; ce serait Dieu même qui penserait, et point du tout le corps. Mais pour moi, je suis tout à fait convaincu que je pense moi-même, et rien ne saurait être plus certain que cela ; donc ce n'est pas mon corps qui pense par une faculté qui lui a été communiquée, c'est un être infiniment différent, c'est mon âme, qui est un esprit.

Mais on demande ce que c'est qu'un esprit? Sur cela j'aime mieux avouer mon ignorance, et répondre que nous ne saurions dire ce que c'est qu'un esprit, puisque nous ne connaissons rien du tout de la nature des esprits. De semblables questions sont le langage des matérialistes, qui se piquent encore du titre d'esprits forts, quoiqu'ils veuillent bannir du monde l'existence des esprits, c'est-à-dire des êtres intelligents et raisonnables. Mais toute cette sagesse imaginaire, dont encore aujourd'hui se glorifient ceux qui, affectant le caractère des esprits forts, veulent se distinguer du peuple, toute cette sagesse, dis-je, tire son origine de la manière lourde dont on a raisonné sur la nature des corps, ce qui n'est pas fort glorieux. Souvent ils se vantent même de leur ignorance, en disant que nous ne connaissons presque rien des corps; donc il est très-possible qu'un corps pense, et fasse toutes les fonctions que le peuple regarde comme le partage des esprits. Or, il serait bien superflu de vouloir encore réfuter ce sentiment bizarre, après les éclaircissements que j'ai eu l'honneur d'exposer à Votre Altesse.

Il est donc certain que ce monde renferme deux espèces d'êtres : des êtres corporels ou matériels, et des êtres immatériels ou des esprits, qui sont d'une nature entièrement différente. Cependant ces deux espèces d'êtres sont liées ensemble de la manière la plus étroite, et c'est principalement de ce lien que dépendent toutes les merveilles du monde, qui ravissent les êtres intelligents et les portent à glorifier le Créateur.

Il n'y a aucun doute que les esprits ne constituent la principale

partie du monde, et que les corps n'y soient introduits que pour leur service. C'est pour cet effet que les âmes des animaux se trouvent dans la plus étroite liaison avec leurs corps. Non-seulement les âmes s'aperçoivent de toutes les impressions faites sur leurs corps, mais aussi elles ont un pouvoir d'agir dans leurs corps, et d'y produire des changements convenables; c'est en quoi consiste une influence active sur le reste du monde.

Or, cette même union de chaque âme avec son corps est sans doute et restera toujours le plus grand mystère de la toute-puissance divine, que nous ne saurions jamais pénétrer. Nous voyons bien que notre âme ne peut pas agir immédiatement sur toutes les parties de notre corps : dès qu'un certain nerf est coupé, je ne puis plier la main; d'où l'on peut conclure que notre âme n'a de pouvoir que sur les dernières extrémités des nerfs, qui aboutissent toutes et se réunissent quelque part dans le cerveau, dont le plus habile anatomiste ne peut assigner exactement le lieu. C'est donc à ce lieu qu'est restreint le pouvoir de notre âme. Mais le pouvoir de Dieu s'étend sur le monde tout entier et sur tout ce que nous ne saurions concevoir; c'est là sa toute-puissance.

29 novembre 1760.

LETTRE XIII.

Sur la liaison mutuelle entre l'âme et le corps.

Les esprits et les corps étant des êtres ou des substances d'une nature tout à fait différente, de sorte que le monde renferme deux espèces de substances, les unes spirituelles et les autres corporelles ou matérielles, l'étroite union que nous observons entre ces deux espèces de substances mérite une extrême attention. En effet, c'est un phénomène bien merveilleux que la liaison réciproque qui se trouve entre l'âme et le corps de chaque homme et même de chaque animal. Cette union se réduit à deux choses : la première est que l'âme sent ou aperçoit tous les changements qui arrivent dans son corps, et ce qui se fait par le moyen des sens, qui sont, comme Votre Altesse le sait parfaitement bien, au nombre de cinq, savoir : la vue, l'ouïe, l'odorat, le goût et le toucher. C'est donc par le moyen des cinq sens que l'âme tire sa connaissance de tout ce qui se passe non-seulement dans son propre corps, mais aussi hors de lui. Le toucher et le goût ne lui représentent que des objets qui touchent immédiatement le corps; l'odorat, des objets un peu éloignés; l'ouïe

s'étend à des distances beaucoup plus grandes, et la vue nous procure une connaissance des objets même les plus éloignés. Toutes ces connaissances ne s'acquièrent qu'en tant que les objets font une impression sur quelqu'un de nos sens; encore ne suffit-il pas que cette impression se fasse, il faut que l'organe du sens se trouve dans un bon état, et que les nerfs qui y appartiennent ne soient point dérangés. Votre Altesse se souvient que pour la vue, il faut que les objets soient distinctement dépeints au fond de l'œil sur la rétine; mais cette représentation n'est pas encore l'objet de l'âme; on peut être aveugle, quoiqu'elle soit parfaitement bien exprimée. La rétine est un tissu de nerfs dont la continuation va jusque dans le cerveau; et quand cette continuation est interrompue par quelque lésion de ce nerf qu'on appelle le *nerf optique*, on ne voit rien, quelque parfaite que soit la représentation sur la rétine. Il en est de même des autres sens, dont tous se font par le moyen des nerfs, qui doivent transporter l'impression faite sur l'organe de sensation, jusqu'à leur première origine dans le cerveau. Il y a donc un certain lieu, dans le cerveau, où tous les nerfs aboutisseut; et c'est là que l'âme a sa résidence et où elle s'aperçoit des impressions qui s'y font par le moyen des sens. C'est de ces impressions que l'âme tire toutes les connaissances des choses qui se trouvent hors d'elle. C'est de là qu'elle tire ses premières idées, par la combinaison desquelles elle forme des jugements, des réflexions, des raisonnements, et tout ce qui est propre à perfectionner sa connaissance; en quoi consiste le propre ouvrage de l'âme, auquel le corps n'a aucune part. Mais la première étoffe lui est fournie par les sens, moyennant les organes de son corps; d'où la première faculté de l'âme est d'apercevoir ou de sentir ce qui se passe dans cette partie du cerveau, où tous les nerfs sensitifs aboutissent. Cette faculté est nommée le *sentiment*, où l'âme est presque passive, et ne fait que recevoir les impressions que le corps lui offre.

Mais à son tour elle a aussi une faculté active, par laquelle elle peut agir sur son corps, et y produire des mouvements à son gré; c'est en quoi consiste le pouvoir de l'âme sur son corps. Ainsi, je puis mouvoir mes mains et mes pieds à volonté; et combien de mouvements ne font pas mes doigts en écrivant cette lettre! Cependant mon âme ne saurait immédiatement agir sur aucun de mes doigts; pour en mettre un seul en mouvement, il faut que plusieurs muscles soient mis en action, et cette action est encore causée par le moyen des nerfs qui aboutissent dans le cerveau : dès qu'un tel nerf est blessé, j'ai beau vouloir commander que mon doigt se meuve, il n'obéira plus aux ordres de mon âme; d'où l'on voit que le pouvoir de

mon âme ne s'étend que sur un petit endroit dans le cerveau, où tous les nerfs concourent; tout comme le sentiment est aussi borné à cet endroit.

L'âme n'est donc unie qu'avec ces extrémités des nerfs, sur lesquels elle a non-seulement le pouvoir d'agir, mais où elle peut aussi voir, comme dans un miroir, tout ce qui fait une impression sur les organes de son corps. Or, quelle merveilleuse adresse de pouvoir conclure de ces légers changements qui arrivent dans l'extrémité des nerfs, ce qui les a occasionnés hors du corps! Un arbre, par exemple, produit par ses rayons sur la rétine une image qui lui est bien semblable; mais combien faible doit être l'impression que les nerfs en reçoivent? Cependant c'est cette impression, continuée par les nerfs jusqu'à leur origine, qui excite dans l'âme l'idée de cet arbre. Ensuite les moindres impressions que l'âme fait sur les extrémités des nerfs se communiquent dans l'instant avec les muscles, qui étant mis en action, tel membre que l'âme veut obéit exactement à ses ordres.

On fait bien des machines qui reçoivent certains mouvements, lorsqu'on tire un certain fil; mais Votre Altesse jugera facilement que toutes ces machines ne sont rien en comparaison de nos corps et de ceux de tous les animaux : d'où il faut conclure que les ouvrages du Créateur surpassent infiniment toute l'adresse des hommes, et que l'union de l'âme avec le corps demeure toujours le phénomène le plus miraculeux.

2 décembre 1760.

LETTRE XIV.

Sur les différents systèmes pour expliquer l'union entre l'âme et le corps.

Pour éclaircir en quelque manière la double liaison de l'âme avec le corps, on peut comparer le sentiment avec un homme qui, étant dans une chambre obscure, y voit représentés tous les objets qui se trouvent dehors, et en tire une connaissance de tout ce qui se passe hors de la chambre. De la même manière l'âme envisageant, pour ainsi dire, les extrémités des nerfs qui se réunissent dans un certain lieu du cerveau, aperçoit toutes les impressions faites sur les nerfs, et parvient à la connaissance des objets extérieurs qui ont fait ces impressions sur les organes des sens. Quoiqu'il nous soit absolument inconnu en quoi consiste la ressemblance des impressions dans les extrémités des nerfs avec les objets mêmes

qui les ont occasionnées, cependant elles sont très-propres à en fournir à l'âme une idée très-juste.

Pour l'autre liaison par laquelle l'âme agissant sur les extrémités des nerfs, peut mettre en mouvement à son gré les membres du corps, on peut la comparer à un joueur de marionnettes qui, en tirant un certain fil, peut faire marcher les marionnettes, et leur faire mouvoir les membres à son gré. Cette comparaison n'est cependant que très-imparfaite, et la liaison de l'âme avec le corps est infiniment plus étroite. L'âme n'est pas si indifférente à l'égard du sentiment, que l'homme placé dans la chambre obscure : elle y est bien plus intéressée. Il y a des sentiments qui lui sont agréables, et il y en a d'autres qui lui sont désagréables et même douloureux. Qu'y a-t-il de plus désagréable qu'une douleur piquante, quand même elle ne viendrait que d'une mauvaise dent? ce n'est qu'un nerf qui en est irrité d'une certaine manière, dont l'effet est si insupportable à l'âme.

De quelque manière qu'on envisage cette étroite union entre l'âme et le corps, qui constitue l'essence d'un homme vivant, elle demeure toujours un mystère inexplicable dans la philosophie; et, dans tous les temps, les philosophes se sont en vain donné toutes les peines possibles pour l'approfondir. Ils ont imaginé trois systèmes pour expliquer cette union de l'âme avec le corps.

Le premier de ces systèmes est celui d'*influx*, qui est le même que celui dont je viens de parler à Votre Altesse, savoir, par lequel on établit une influence réelle du corps sur l'âme et de l'âme sur le corps; de sorte que le corps, par le moyen des sens, fournit à l'âme les premières connaissances des choses externes, et que l'âme, en agissant immédiatement sur les nerfs dans leur origine, excite dans les corps les mouvements de ses membres, quoique l'on convienne que la manière de cette influence mutuelle nous est absolument inconnue. Il faut sans doute recourir à la toute-puissance de Dieu, qui a donné à chaque âme un pouvoir sur une certaine portion de matière que renferment les extrémités des nerfs du corps, de sorte que le pouvoir de chaque âme est restreint à une petite partie du corps, pendant que le pouvoir de Dieu s'étend à tous les corps du monde. Ce système paraît le plus conforme à la vérité, quoiqu'il s'en faille beaucoup que nous en ayons une connaissance détaillée.

Les deux autres systèmes ont été établis par les philosophes qui nient hautement la possibilité d'une influence réelle d'un esprit sur les corps, quoiqu'ils soient obligés de l'accorder à l'Être suprême. Ainsi, selon eux, le corps ne saurait fournir à l'âme les premières

idées des choses externes, ni l'âme produire aucun mouvement dans le corps.

L'un de ces deux systèmes a été imaginé par Descartes, et est nommé le système des *causes occasionnelles*. Selon ce philosophe, quand les organes des sens sont excités par les corps extérieurs, c'est alors Dieu qui imprime dans le même instant à l'âme immédiatement les idées de ce corps ; et quand l'âme veut que quelque membre du corps se meuve, c'est encore Dieu qui imprime immédiatement à ce membre le mouvement désiré, de sorte donc que l'âme n'est dans aucune connexion avec son corps. Or, alors on ne voit aucune nécessité pour le corps qu'il soit une machine si merveilleusement construite, puisqu'une masse très-lourde aurait également été propre à ce dessein. En effet, ce système a bientôt perdu tout son crédit, après que le grand Leibniz lui a substitué son système de l'harmonie préétablie, dont Votre Altesse aura sans doute déjà entendu parler.

Selon ce dernier système de l'*harmonie préétablie*, l'âme et le corps sont deux substances hors de toute connexion, et qui n'ont aucune influence l'une sur l'autre. L'âme est une substance spirituelle qui développe par sa propre nature successivement toutes les idées, pensées, raisonnements et résolutions, sans que le corps y ait la moindre part ; et le corps est une machine le plus artificiellement fabriquée : comme une horloge, il produit successivement tous les mouvements, sans que l'âme y ait la moindre part. Mais Dieu ayant prévu dès le commencement toutes les résolutions que chaque âme aurait à chaque instant, il a arrangé la machine du corps en sorte que ses mouvements sont à chaque instant d'accord avec les résolutions de l'âme. Ainsi, quand je lève à présent ma main, Leibniz dit que Dieu, ayant prévu que mon âme voudrait à présent lever la main, avait disposé la machine de mon corps en sorte qu'en vertu de sa propre organisation la main se lèverait nécessairement dans le même instant; et qu'ainsi, de même que tous les mouvements des membres du corps se faisaient tous uniquement en vertu de leur propre organisation, cette organisation avait été dès le commencement disposée en sorte qu'elle fût en tout temps d'accord avec les résolutions de l'âme.

6 décembre 1760.

LETTRE XV.

Examen du système de l'harmonie préétablie, et objections contre ce système.

Il y avait un temps où le système de l'harmonie préétablie était tellement en vogue, que tous ceux qui en doutaient seulement passaient pour des ignorants ou des esprits fort bornés. Les partisans de ce système se vantaient beaucoup que par ce moyen la toute-puissance et la toute-science de l'Être suprême étaient mises dans leur plus grand jour, et que dès qu'on était convaincu de ces éminentes perfections de Dieu on ne pouvait plus douter un moment de la vérité de ce sublime système.

En effet, disent-ils, nous voyons que de chétifs mortels sont capables de faire des machines si artificielles, qu'elles ravissent le peuple en admiration; à combien plus forte raison doit-on convenir que Dieu, ayant su de toute éternité tout ce que mon âme voudra et désirera à chaque instant, ait pu fabriquer une telle machine, qui à chaque instant produise des mouvements conformément aux ordres de mon âme! Or, cette machine est précisément mon corps, qui n'est lié avec mon âme que par cette harmonie, de sorte que si l'organisation de mon corps était troublée au point de n'être plus d'accord avec mon âme, ce corps n'appartiendrait pas plus à moi, que le corps d'un rhinocéros au milieu de l'Afrique; et si, dans le cas d'un dérèglement de mon corps, Dieu ajustait le corps d'un rhinocéros en sorte que ses mouvements fussent tellement d'accord avec les ordres de mon âme, qu'il levât la patte au moment que je voudrais lever la main, et ainsi des autres opérations, ce serait alors mon corps. Je me trouverais subitement dans la forme d'un rhinocéros au milieu de l'Afrique, mais nonobstant cela mon âme continuerait les mêmes opérations. J'aurais également l'honneur d'écrire à Votre Altesse; mais je ne sais comment elle recevrait alors mes lettres.

Feu M. Leibniz lui-même a comparé l'âme et le corps à deux horloges qui montrent continuellement les mêmes heures. Un ignorant qui verrait cette belle harmonie entre ces deux horloges s'imaginerait sans doute que l'une agirait dans l'autre; mais il se tromperait, puisque chacune produit ses mouvements indépendamment de l'autre. De même l'âme et le corps sont deux machines tout à fait indépendantes l'une de l'autre, celle-là étant spirituelle, et celle-ci matérielle; mais leurs opérations se trouvent toujours

dans un accord si parfait, qu'il nous fait croire que ces deux machines appartiennent ensemble, et que l'une a une influence réelle sur l'autre; ce qui ne serait cependant qu'une pure illusion.

Pour juger ce système, je remarque d'abord qu'on ne saurait nier que Dieu n'eût pu créer une machine qui fût toujours d'accord avec les opérations de mon âme; mais il me semble que mon corps m'appartient par d'autres titres que par une telle harmonie, quelque belle qu'elle puisse être; et je crois que Votre Altesse n'admettra pas facilement un système qui est uniquement fondé sur le principe qu'aucun esprit ne saurait agir sur un corps, et que, réciproquement, un corps ne saurait agir, ou fournir des idées à un esprit. Ce principe d'ailleurs se trouve destitué de toute preuve, les chimères de ses partisans sur les êtres simples ayant été suffisamment réfutées. Ensuite si Dieu, qui est esprit, a le pouvoir d'agir sur les corps, il n'est pas absolument impossible qu'un esprit tel que notre âme ne puisse pas aussi agir sur un corps. Aussi ne disons-nous pas que notre âme agisse sur tous les corps, mais seulement sur une petite particule de matière, sur laquelle elle en a reçu le pouvoir de Dieu même, quoique la manière nous soit inintelligible.

Outre cela, le système de l'harmonie préétablie est, d'un autre côté, assujetti à de grandes difficultés : selon lui, l'âme tire de son propre fonds toutes les connaissances, sans que le corps et les sens y contribuent en rien. Ainsi, quand je lis dans la gazette que le pape est mort, et que je parviens à la connaissance de la mort du pape, la gazette et ma lecture n'ont aucune part à cette connaissance, puisque ces circonstances ne regardent que mon corps et mes sens, qui ne sont dans aucune liaison avec mon âme. Mais, suivant ce système, mon âme développe en même temps, de son propre fonds, les idées qu'elle a de ce pape. Elle juge de sa constitution, qu'il doit absolument être mort; et heureusement cette connaissance lui vient avec la lecture de la gazette : de sorte que je m'imagine que la lecture de la gazette m'a fourni cette connaissance, quoique je l'aie puisée du propre fonds de mon âme. Or, cette idée révolte ouvertement. Comment pourrai-je si hardiment assurer que le pape a dû nécessairement mourir au moment que la gazette le marque, et cela uniquement de la faible idée que j'avais de l'état de la santé du pape, dont peut-être je ne savais rien du tout, pendant que je connais infiniment mieux ma propre situation, sans savoir pourtant ce qui m'arrivera demain? De même quand Votre Altesse me fait la grâce de lire ces lettres, et qu'elle en apprend quelque vérité, c'est alors l'âme de Votre Altesse qui

développe de son propre fonds cette même vérité, sans que j'y contribue la moindre chose par mes lettres. La lecture de ces lettres ne sert qu'à remplir l'harmonie que le Créateur a voulu établir entre l'âme et le corps. Ce n'est qu'une pure formalité tout à fait superflue à l'égard de la connaissance même. Nonobstant cela, je continuerai mes instructions.

9 décembre 1760.

LETTRE XVI.

Autre objection contre ce système.

On fait encore une autre objection contre le système de l'harmonie préétablie : on dit que la liberté des hommes y est entièrement détruite. En effet, si les corps des hommes sont des machines semblables à une montre, toutes leurs actions sont une suite nécessaire de leur structure. Ainsi, quand un voleur me coupe la bourse, le mouvement qu'il fait de ses mains est un effet aussi nécessaire de la machine de son corps, que le mouvement de l'*indice* de ma pendule, qui marque à présent neuf heures. De là Votre Altesse tirera aisément la conséquence que comme il serait injuste et même ridicule que je voulusse me fâcher contre ma pendule de ce qu'elle marque neuf heures, et que je voulusse la châtier pour cela; il en doit être de même du voleur, qu'on aurait également tort de châtier pour m'avoir coupé la bourse.

Là-dessus on a eu ici autrefois un exemple bien éclatant, lorsque, du temps du feu roi, M. Wolf enseigna à Halle le système de l'harmonie préétablie. Le roi s'informa de cette doctrine, qui faisait alors bien du bruit, et un courtisan répondit à Sa Majesté que tous les soldats, selon cette doctrine, n'étaient que de pures machines; et quand quelques-uns désertaient, que c'était une suite nécessaire de leur structure, et, par conséquent, qu'on avait tort de les punir, comme on l'aurait lorsqu'on voudrait punir une machine pour avoir produit tel ou tel mouvement. Le roi se fâcha si fort, sur ce rapport, qu'il donna ordre de chasser M. Wolf de Halle, sous peine d'être pendu, s'il s'y trouvait encore au bout de vingt-quatre heures. Ce philosophe se réfugia alors à Marsbourg, où je lui ai parlé peu de temps après. Ses partisans ont beaucoup crié contre ce procédé, et ont soutenu que l'harmonie préétablie ne portait aucune atteinte à la liberté des hommes. Ils convinrent bien que toutes les actions des hommes étaient des suites nécessaires de l'organisation de leur

corps, et qu'à cet égard elles arrivaient aussi nécessairement que les mouvements d'une montre; mais en tant que les corps des hommes étaient des machines harmoniques avec les âmes, dont les résolutions jouissaient d'une parfaite liberté, qu'on était en droit de punir celle-ci, quoique l'action corporelle fût nécessaire. Il est bien vrai que le criminel d'une action ne consiste pas tant dans l'acte ou le mouvement du corps, que dans la résolution et l'intention de l'âme même, qui demeure entièrement libre. Qu'on conçoive, disent-ils, l'âme d'un voleur qui voudra, dans un certain temps, commettre un vol; Dieu ayant prévu cette intention, l'a pourvu d'un corps tellement organisé, que dans le même temps il produisit précisément les mouvements requis pour faire le vol : de là ils disent que l'action même est bien l'effet nécessaire de l'organisation du corps, mais que la résolution du voleur est un acte libre de son âme, qui n'est pas pour cela moins coupable et moins punissable.

Nonobstant ce raisonnement, les partisans du système de l'harmonie préétablie seront toujours fort embarrassés de maintenir la liberté dans les résolutions de l'âme. Car, selon eux, l'âme est aussi semblable à une machine, quoique d'une nature tout à fait différente de celle du corps; les représentations et les résolutions y sont occasionnées par celles qui précèdent, et celles-ci encore par les antérieures, etc.; de sorte qu'elles se suivent aussi nécessairement que les mouvements d'une machine. En effet, disents-ils, les hommes agissent toujours par certains motifs, et ces motifs sont fondés dans les représentations de l'âme, qui se succèdent les unes aux autres conformément à son état. Votre Altesse se souviendra que, dans ce système, l'âme ne tire aucune idée du corps, avec lequel elle n'est dans aucune liaison réelle; elle tire plutôt toutes ses idées de son propre fonds. Les idées présentes découlent des précédentes, et en sont une suite nécessaire; de sorte que l'âme n'est rien moins que maîtresse de ses idées. Or, ces idées engendrent les résolutions, qui sont donc aussi peu dans le pouvoir de l'âme; et, conséquemment, toutes les actions de l'âme étant fondées dans son état présent, et celui-ci dans le précédent, et ainsi de suite, elles sont un effet nécessaire du premier état de l'âme, auquel elle a été créée, dont elle n'a certainement pas été la maîtresse, et par conséquent aucune liberté n'y saurait avoir lieu. Or, ôtant aux hommes la liberté, toutes les actions deviennent nécessaires, et absolument *insusceptibles* d'un jugement, si elles sont justes ou criminelles.

Aucun de ces philosophes n'a encore pu lever cette difficulté : et

de là leurs adversaires ont beau jeu de leur reprocher que leur sentiment renverse toute la morale, et que tous les crimes rejaillissent sur Dieu même; ce qui est sans doute le sentiment le plus impie. Cependant il ne faut pas leur imputer de telles conséquences, quoiqu'elles suivent très-naturellement de leur système. L'article sur la liberté est une pierre d'achoppement dans la philosophie, qu'il est extrêmement difficile de mettre dans tout son jour.

13 décembre 1760.

LETTRE XVII.

Sur la liberté des esprits, et réponse aux objections qu'on fait communément contre la liberté.

Les plus grandes difficultés sur la liberté, qui paraissent même insurmontables, tirent leur origine de ce qu'on ne distingue pas assez soigneusement la nature des esprits de celle des corps. Les philosophes wolfiens vont même si loin, qu'ils mettent les esprits au même rang que les éléments des corps, et donnent aux uns et aux autres le nom de *monades*, dont la nature consiste, selon eux, dans une force de changer leur état; et c'est de là que résultent tous les changements dans les corps, et toutes les représentations et les actions des esprits. Donc, puisque dans ce système chaque état, tant des corps que des esprits, tire sa détermination de l'état précédent, de sorte que les actions des esprits découlent de la même manière de leur état précédent que les actions des corps, il est évident que la liberté ne saurait pas plus trouver lieu dans les esprits que dans les corps. Or, quant aux corps, il serait ridicule d'y vouloir concevoir la moindre ombre de liberté, la liberté supposant toujours un pouvoir de commettre, d'admettre ou de suspendre une action, ce qui est directement opposé à tout ce qui se passe dans les corps. Ne serait-il pas ridicule de prétendre qu'une montre marquât une autre heure qu'elle ne fait actuellement, et de la vouloir punir pour cela? Ou n'aurait-on pas tort si l'on se fâchait contre une marionnette de ce qu'elle nous tourne le dos après avoir fait quelques tours? Votre Altesse ne comprend que trop qu'une justice établie sur les actions de cette marionnette, ou d'autres semblables, serait bien mal placée.

Tous les changements qui arrivent dans les corps, et qui se réduisent uniquement à leur état ou de repos ou de mouvement, sont des suites nécessaires des forces qui y agissent; et l'action de

ces forces étant une fois posée, les changements dans les corps ne sauraient arriver autrement qu'ils n'arrivent; et, par conséquent, tout ce qui regarde les corps n'est ni blâmable, ni louable. Quelque adroitement que soit exécutée une machine, les louanges que nous lui prodiguons rejaillissent sur l'artiste qui l'a faite, la machine elle-même n'y est pas intéressée; tout comme une machine lourde et mal faite est innocente en elle-même, c'est le maître qui en est responsable. Ainsi, tant qu'il ne s'agit que des corps, ils ne sont responsables de rien; à leur égard, aucune récompense, aucune punition ne saurait avoir lieu; tous les changements et mouvements qui y sont produits sont des suites nécessaires de leur structure.

Mais les esprits sont d'une nature entièrement différente, et leurs actions dépendent de principes directement opposés. Comme la liberté est entièrement exclue de la nature des corps, elle est le partage essentiel des esprits; de sorte qu'un esprit ne saurait être sans la liberté, et c'est la liberté qui le rend responsable de ses actions. Cette propriété est aussi essentielle aux esprits que l'étendue ou l'impénétrabilité l'est aux corps; et comme il serait impossible, même à la toute-puissance divine, de dépouiller les corps de ces qualités, il lui est également impossible de dépouiller les esprits de la liberté: car un esprit sans liberté ne serait plus un esprit, tout de même qu'un corps sans étendue ne serait plus un corps.

Or, la liberté entraîne la possibilité de pécher: donc, dès que Dieu a introduit les esprits dans le monde, la possibilité de pécher y fut en même temps attachée; et il aurait été impossible de prévenir le péché sans détruire l'essence des esprits, c'est-à-dire sans les anéantir. De là s'évanouissent toutes les plaintes contre le péché et les suites funestes qui en découlent, et la bonté de Dieu n'en souffre aucune atteinte.

De tout temps c'était une grande difficulté, parmi les philosophes et les théologiens, comment Dieu avait pu permettre le péché dans le monde? Mais s'ils avaient pensé que les âmes des hommes sont des êtres nécessairement libres de leur nature, ils n'y auraient pas trouvé tant de difficulté.

Voici les objections qu'on fait communément contre la liberté. On dit qu'un esprit, ou bien un homme, ne se détermine jamais à une action que par des motifs; et qu'après avoir bien pesé les raisons pour et contre, il se décide enfin pour le parti qu'il trouve le plus convenable. De là on conclut que les motifs déterminent les actions des hommes de la même manière que le mouvement des billes, sur le billard, est déterminé par le choc qu'on leur imprime, et conséquem-

ment que les actions des hommes sont aussi peu libres que le mouvement des billes. Mais il faut bien considérer que les motifs qui engagent à entreprendre quelque action se rapportent tout autrement à l'âme que le choc à la bille. Ce choc produit son effet nécessairement, pendant qu'un motif, quelque fort qu'il soit, n'empêche pas que l'action ne soit volontaire. J'avais des motifs bien forts pour entreprendre mon voyage de Magdebourg, c'était pour dégager ma parole, et pour jouir du bonheur de rendre mes respects à Votre Altesse; mais je sens pourtant bien que je n'y ai pas été forcé, et que j'ai toujours été le maître de faire ce voyage ou de rester à Berlin. Or, un corps poussé par quelque force obéit nécessairement, et on ne saurait dire qu'il est le maître d'obéir ou non.

Un motif qui porte un esprit à régler ses résolutions est d'une nature tout à fait différente d'une cause ou force qui agit sur les corps. Ici l'effet est produit nécessairement; et là l'effet demeure toujours volontaire, et l'esprit est le maître. C'est sur cela qu'est fondée l'*imputabilité* des actions d'un esprit qui l'en rend responsable; ce qui est le vrai fondement du juste et de l'injuste. Dès qu'on établit cette différence infinie entre les esprits et les corps, la liberté n'a plus rien qui puisse choquer.

16 décembre 1760.

LETTRE XVIII.

Sur le même sujet.

La différence que je viens d'établir entre les motifs conformément auxquels les esprits agissent et les causes ou forces qui agissent sur les corps, nous découvre le veritable fondement de la liberté.

Que Votre Altesse s'imagine une marionnette si artistement fabriquée par des roues et des ressorts, qui s'approche de ma poche et en tire ma montre sans que je m'en aperçoive; cette action, étant une suite nécessaire de l'organisation de la machine, ne saurait être regardée comme un vol, et je me rendrais ridicule si je m'en fâchais et si je voulais faire pendre la machine. Tout le monde dirait que la marionnette était innocente, ou plutôt insusceptible d'une action blâmable : aussi serait-il fort indifférent à la machine d'être pendue, ou d'être mise même sur un trône. Cependant, si l'artiste avait fait cette machine à dessein de voler les honnêtes gens et de s'enrichir par de tels vols, j'admirerais bien l'adresse de l'ouvrier, mais je

serais en droit de le dénoncer à la justice comme un voleur. Il s'ensuit donc que, même dans ce cas, le crime retomberait sur un être intelligent, ou un esprit, et que les seuls esprits sont responsables de leurs actions.

Que chacun examine ses actions, et il trouvera toujours qu'il n'y a pas été forcé, quoiqu'il y ait été porté par des motifs. Si ses actions sont louables, il sent bien qu'il mérite les éloges qu'on lui donne. Quand même il se tromperait dans tous ses autres jugements, il ne se trompe pas dans celui-ci; le sentiment de sa liberté est si étroitement lié avec sa liberté même, que l'un est inséparable de l'autre. On peut bien avoir des doutes sur la liberté d'un autre, mais jamais on ne saurait se tromper sur sa propre liberté. Un paysan, par exemple, en voyant la marionnette dont je viens de parler, pourrait bien s'imaginer que c'est un voleur comme sont les autres, et qu'il agit aussi librement : il se tromperait en cela; mais, sur sa propre liberté, il est impossible qu'il se trompe; dès qu'il s'estime libre, il est libre en effet. Il pourrait aussi arriver que ce même paysan, désabusé de son erreur, regardât ensuite un garçon adroit comme une machine destituée de tout sentiment et sans liberté : par où il tomberait dans une erreur opposée ; mais encore sur soi-même il ne se trompera jamais.

Il serait donc ridicule de dire qu'il serait possible qu'une montre s'imaginât que son indice tourne librement, et qu'elle crût que l'indice marque à présent neuf heures parce qu'il lui plaît ainsi, et qu'il pourrait bien marquer une autre heure si elle le jugeait à propos ; en quoi la montre se tromperait sûrement. Mais cette supposition est très-absurde en elle-même. D'abord il faudrait attribuer à la montre un sentiment et une imagination, et par là même on lui supposerait un esprit ou une âme qui renferme nécessairement la liberté ; ensuite on regarderait aussi la montre comme une pure machine dépouillée de liberté, ce qui est une contradiction ouverte.

On forme cependant encore contre la liberté une autre objection, tirée de la *prescience* de Dieu. On dit que Dieu a prévu de toute éternité toutes les résolutions ou actions que je ferais pendant tous les instants de ma vie. Donc, Dieu ayant prévu que je continuerais d'écrire à présent, que j'abandonnerais ensuite la plume, et que je me lèverais pour faire quelques tours de promenade, mon action ne serait plus libre; car il faudra nécessairement que j'écrive, que je quitte la plume, et que je me lève pour me promener; et il serait impossible que je fisse quelque autre chose, puisque Dieu ne saurait se tromper dans ce qu'il prévoit. La réponse à cette objection est aisée. De ce que Dieu a prévu de toute éternité que je commettrais

tel jour une certaine action, il ne s'ensuit pas que je la commette effectivement parce que Dieu l'a prévu. Car il est évident qu'il ne faut pas dire ici que je continue d'écrire *parce que* Dieu a prévu que je continuerais d'écrire; mais réciproquement, puisque je juge à propos de continuer d'écrire, Dieu a prévu que je le ferais. Ainsi la prescience de Dieu n'ôte rien à ma liberté; et toutes mes actions demeurent également libres, soit que Dieu les ait prévues ou non.

Quelques-uns cependant, pour maintenir la liberté, ont été jusqu'à nier la prescience de Dieu; mais Votre Altesse n'aura point de peine à reconnaître le faux de ce sentiment. Est-il donc si surprenant que Dieu, mon créateur, qui connaît tous mes penchants, puisse prévoir l'effet que chaque motif fera sur mon âme, et par conséquent aussi toutes les résolutions que je prendrai conformément à cet effet, pendant que nous, pauvres mortels, sommes souvent capables d'une telle prescience? Que Votre Altesse s'imagine un homme extrêmement avare, auquel il se présente une belle occasion de faire un gain considérable : elle saura certainement que cet homme ne manquera pas de profiter de cette occasion. Cependant cette science de Votre Altesse ne force pas cet homme; il s'y détermine de son plein gré, tout de même que si Votre Altesse n'avait daigné faire aucune réflexion sur lui. Donc, puisque Dieu connaît infiniment mieux tous les hommes avec toutes leurs inclinations, on ne peut douter que Dieu ait pu prévoir toutes les actions qu'ils entreprendraient dans toutes les occasions. Cette prescience de Dieu, qui regarde les actions libres des esprits, est néanmoins fondée sur un tout autre principe que la prescience des changements qui doivent arriver dans le monde corporel, où tout arrive nécessairement. Il est bon de remarquer cette distinction, qui fera le sujet de ma lettre suivante.

20 décembre 1760.

LETTRE XIX.

Sur l'influence de la liberté des esprits dans les événements du monde.

Si le monde ne contenait que des corps, et que tous les changements qui y arrivent fussent des suites nécessaires des lois du mouvement, conformément aux forces dont les corps agissent les uns sur les autres, tous les événements seraient nécessaires, et dépendraient du premier arrangement que le Créateur aurait établi parmi les corps du monde; de sorte que, cet arrangement une fois établi,

il serait impossible qu'il y eût dans la suite d'autres événements que ceux qui y arrivent actuellement. Dans ce cas, le monde serait sans contredit une pure machine, semblable à une montre qui, étant une fois montée, produit ensuite tous les mouvements par lesquels nous mesurons le temps. Que Votre Altesse conçoive une pendule à musique ; cette pendule étant une fois réglée, tous ses mouvements et les airs qu'elle joue sont produits en vertu de sa construction, sans que la main du maître y touche de nouveau, et alors on dit que cela se fait machinalement. Si l'artiste y touche en changeant l'indice ou le cylindre qui règle les airs, ou en la remontant, c'est une action externe, qui n'est plus fondée sur l'organisation de la machine : cette action n'est plus machinale. De la même manière, si Dieu, comme maître du monde, changeait immédiatement quelque chose dans le cours des événements successifs, ce changement n'appartiendrait plus à la machine ; ce serait alors un *miracle*. D'où l'on voit qu'un miracle est un effet immédiat de la toute-puissance divine, qui ne serait pas arrivé si Dieu avait laissé un cours libre à la machine du monde. Ce serait l'état du monde, s'il n'y avait que des corps ; et alors on pourrait dire que tous les événements y arrivent par une nécessité absolue, chacun d'eux étant un effet nécessaire de la construction du monde, à moins que Dieu n'y opère des miracles.

La même chose aurait aussi lieu dans le système de l'harmonie préétablie, quoiqu'on y admette des esprits ; car, selon ce système, les esprits n'agissent point sur les corps, lesquels produisent tous leurs mouvements et leurs actions uniquement en vertu de leur structure une fois établie ; de sorte que, quand je lève mon bras, ce mouvement est un effet aussi nécessaire de l'organisation de mon corps que le mouvement des roues dans une montre. Mon âme n'y contribue en rien ; c'est Dieu qui a arrangé dès le commencement la matière, en sorte que mon corps en devrait résulter nécessairement dans un certain temps, et lever le bras au moment que mon bras le voudrait. Ainsi mon âme n'a aucune influence sur mon corps, non plus que les âmes des autres hommes et des animaux ; et, par conséquent, dans ce système, tout le monde n'est que corporel, et tous les événements sont une suite nécessaire de l'organisation primitive que Dieu a établie dans le monde.

Mais dès qu'on accorde aux âmes des hommes et des animaux quelque pouvoir sur leur corps pour y produire des mouvements que la seule organisation des corps n'aurait pas produits, le système du monde n'est plus une pure machine, et tous les événements n'y arrivent pas nécessairement, comme dans le cas précédent.

Le monde renfermera des événements d'une double espèce : les uns, sur lesquels les esprits n'ont aucune influence, seront corporels ou dépendants de la machine, comme les mouvements et les phénomènes célestes, qui arrivent aussi nécessairement que les mouvements d'une montre, et dépendent uniquement de l'établissement primitif du monde. Les autres, qui dépendent de l'âme des hommes et des animaux attachée à leurs corps, ne seront plus nécessaires comme les précédents, mais ils dépendront de la liberté comme de la volonté de ces êtres spirituels.

Ces deux espèces d'événements distinguent le monde d'une simple machine, et l'élèvent à un rang infiniment plus digne du Créateur tout-puissant qui l'a formé. Aussi le gouvernement de ce monde nous inspirera toujours la plus sublime idée de la sagesse et de la bonté souveraine de Dieu.

Il est donc certain que la liberté, qui est absolument essentielle aux esprits, a une très-grande influence sur les événements du monde. Votre Altesse n'a qu'à considérer les suites fatales de cette guerre, qui toutes résultent des actions des hommes, occasionnées par leur bon plaisir ou leur caprice.

Il est cependant également certain que les événements du monde ne dépendent pas uniquement du bon plaisir ou de la volonté des hommes et des animaux. Leur pouvoir est fort borné, et restreint à un petit endroit dans le cerveau où tous les nerfs aboutissent ; et en y agissant, on ne peut qu'imprimer aux membres un certain mouvement, lequel ensuite peut opérer sur d'autres corps, et ceux-ci sur d'autres encore ; de sorte que le moindre mouvement de mon corps peut bien avoir une grande influence sur quantité d'événements, et avoir même de très-grandes suites. L'homme cependant, quoique le maître du premier mouvement de son corps, qui occasionne ces suites, ne l'est pas des suites mêmes. Celles-ci dépendent de tant de circonstances compliquées que l'esprit le plus sage ne saurait les prévoir ; aussi voyons-nous tous les jours échouer tant de projets, quelque bien qu'ils fussent concertés. Mais c'est en cela qu'il faut reconnaître le gouvernement et la providence de Dieu, qui, ayant prévu de toute éternité tous les conseils, les projets et les actions volontaires des hommes, a arrangé le monde corporel en sorte qu'il amène en tout temps des circonstances qui font réussir ou échouer ces entreprises, selon que sa sagesse infinie l'a jugé convenable. Dieu demeure ainsi le maître absolu de tous les événements du monde, malgré la liberté des hommes dont toutes les actions libres sont déjà entrées, au commencement, dans le plan que Dieu a voulu exécuter en créant ce monde.

Cette réflexion nous plonge dans un abîme d'admiration et d'adoration des perfections infinies du Créateur, en considérant que rien ne saurait être si chétif qu'il n'ait déjà été, au commencement du monde, un objet digne d'entrer dans le premier plan que Dieu s'est proposé. Mais cette matière surpasse infiniment la faible portée de notre entendement.

23 décembre 1760.

LETTRE XX.

Sur les événements naturels, surnaturels et moraux.

Dans la vie commune on distingue soigneusement les événements opérés par les seules causes corporelles de ceux où les hommes et les animaux concourent. On nomme ceux de la première espèce des *événements naturels*, ou opérés par les cause naturelles : tels sont les phénomènes des corps célestes, les éclipses, les vents, les tempêtes, les tremblements de terre, etc. On dit que ce sont des phénomènes naturels, puisqu'on conçoit que ni les hommes ni les animaux n'y ont aucune part. Mais si, par exemple, comme le peuple superstitieux s'imagine, les sorciers étaient capables d'exécuter des tempêtes, on ne dirait plus qu'une telle tempête est un phénomène naturel. D'où Votre Altesse comprend qu'on ne donne le nom de *phénomène naturel* qu'aux événements qui sont uniquement produits par des causes corporelles, sans qu'aucun homme ou animal y ait la moindre part. Voit-on, par exemple, un arbre déraciné par la force du vent, on dit que c'est un effet naturel ; mais dès qu'un arbre est déraciné par la force des hommes, ou par la trompe d'un éléphant, personne ne dit plus que c'est un effet naturel. De la même manière, quand nos campagnes sont dévastées par quelque inondation ou par la grêle, on dit que la cause de ce malheur est naturelle ; mais dès que le même dégât se fait par des ennemis, on n'en nomme plus la cause naturelle. Si un tel accident était opéré par un miracle ou par une force immédiate de Dieu, on dirait que la cause est *surnaturelle ;* mais si cet événement était causé par les hommes ou par les animaux, on ne pourrait plus lui donner le nom ni de *naturel* ni de *surnaturel*. On le caractérise alors simplement par le nom d'*action*, ce qui désigne un événement qui n'est ni naturel ni surnaturel. On pourrait mieux le dire *moral*, puisqu'il dépend de la liberté d'un être intelligent. Ainsi quand Quinte-Curce nous a laissé une description des actions d'Alexandre-le-Grand, il nous donne à connaître les événements occasionnés par les résolutions

libres de ce héros. Une telle action suppose toujours une détermination libre d'un être spirituel, qui dépend de sa volonté, et dont il est le maître. Je dis *dont il est le maître*, car il y a bien des mouvements pour lesquels nous aurions beau nous déterminer, nous ne serions cependant point obéis, parce que ces mouvements ne sont pas en notre pouvoir. Ainsi je ne suis pas même le maître de tous les mouvements qui se font dans mon corps : le mouvement de mon cœur et de mon sang n'est pas soumis à mon pouvoir ou à l'empire de mon âme, comme est l'action que je fais à présent en écrivant cette lettre. Il y a aussi des mouvements qui tiennent de l'une et de l'autre espèce, comme la respiration, que je puis accélérer et retarder jusqu'à un certain degré, mais dont je ne suis pas le maître absolu.

La langue n'a pas de mots assez propres pour désigner toutes les diverses sortes d'événements qui arrivent. Il y en a qui sont opérés uniquement par des causes naturelles, et qui sont des suites nécessaires de l'arrangement des corps dans le monde ; et puisqu'ils arrivent nécessairement, la connaissance de cet arrangement nous met en état de prédire quantité de ces événements, comme la situation des corps célestes, les éclipses, et d'autres phénomènes qui en dépendent pour chaque temps proposé. Il y a d'autres événements qui dépendent uniquement de la volonté des êtres libres et spirituels, comme les actions de chaque homme ou de chaque animal. En particulier de ceux-ci, il nous est impossible de prévoir quelque chose si ce n'est par de simples conjectures, et le plus souvent nous nous y trompons très-grossièrement : il n'y a que Dieu qui possède cette connaissance au suprême degré.

De ces deux espèces d'événements, il en naît une troisième où des causes naturelles concourent avec celles qui sont volontaires et dépendantes de quelque être libre. Un billard en fournit un exemple. Les coups dont on frappe les billes dépendent de la volonté des joueurs ; mais dès que le mouvement est imprimé aux billes, la continuation de ce mouvement et les chocs mutuels des billes, ou avec les bandes, sont des suites nécessaires des lois du mouvement. En général, la plupart des événements qui arrivent sur la terre doivent être rapportés à cette espèce, puisqu'il n'y en a presque point où les hommes et les animaux n'aient quelque influence. La culture des campagnes exige d'abord des mouvements volontaires d'hommes ou de bêtes ; mais la suite est un effet des causes purement naturelles. Les suites funestes de la guerre actuelle, quel mélange ne sont-elles pas tant des causes naturelles que des actions libres des hommes ! Aussi est-il fort important de remar-

quer que Dieu agit d'une manière tout à fait différente envers les corps et les esprits. Pour les corps, Dieu a établi les lois du repos et du mouvement, conformément auxquelles tous les changements arrivent nécessairement, les corps n'étant que des êtres passifs qui se maintiennent dans leur état, ou qui obéissent nécessairement aux impressions que les uns font sur les autres, comme j'ai eu l'honneur de l'expliquer à Votre Altesse ; au lieu que les esprits ne sont susceptibles d'aucune force ou contrainte, et que c'est par des commandements ou des défenses que Dieu les gouverne.

A l'égard des corps, la volonté de Dieu est toujours parfaitement accomplie ; mais à l'égard des êtres spirituels, comme les hommes, il arrive souvent le contraire. Quand on dit que Dieu veut que les hommes s'aiment mutuellement, c'est une tout autre volonté de Dieu ; c'est un commandement auquel les hommes devraient obéir ; mais il s'en faut beaucoup qu'il soit exécuté. Dieu n'y force pas les hommes, ce qui serait une chose contraire à la liberté qui leur est essentielle ; mais il tâche de les porter à l'observation de ce commandement en leur représentant les motifs les plus forts, fondés sur leur propre salut ; les hommes demeurent toujours les maîtres de s'y conformer ou non. C'est sur ce pied qu'on doit juger de la volonté de Dieu quand elle se rapporte aux actions libres des êtres spirituels.

27 décembre 1760.

LETTRE XXI.

Sur la question du meilleur monde, et sur l'origine des maux et des péchés.

On dispute si souvent si ce monde est le meilleur ou non, que cette question ne saurait être inconnue à Votre Altesse. Il n'y a aucun doute que ce monde ne réponde parfaitement au plan que Dieu s'était proposé en le créant, et nous avons sur cela le témoignage même de l'Écriture sainte.

Quant aux corps et aux productions matérielles, leur arrangement et leur structure est telle que certainement il ne pouvait rien être de mieux. Que Votre Altesse se souvienne de la fabrique admirable de l'œil, dont il faut convenir que toutes les parties et leur conformation ne sauraient mieux remplir le but, qui est de représenter distinctement les objets extérieurs. Combien d'adresse ne fallait-il pas employer pour entretenir l'œil dans cet état pendant toute la vie ! Il s'agissait d'empêcher que les sucs dont il est com-

posé ne se corrompissent, et qu'ils fussent renouvelés et entretenus dans leur état convenable; tout cela surpasse notre entendement. Une structure également merveilleuse se trouve dans toutes les autres parties de nos corps, dans celles de tous les animaux, et même dans celles des plus vils insectes. Dans ces derniers même, à cause de leur petitesse, la structure est d'autant plus admirable qu'elle satisfait parfaitement à tous les besoins qui sont particuliers à chaque espèce. Qu'on examine seulement la vue des insectes, par laquelle ils distinguent les objets les plus petits et les plus proches qui échapperaient à nos yeux, et cet examen seul nous remplira d'admiration. On découvre aussi une perfection semblable dans les plantes : tout y concourt à leur formation, à leur accroissement, et à la production de leurs fleurs, de leurs fruits ou de leurs semences. Quel prodige de voir naître, d'un petit grain mis dans la terre, une plante ou un arbre, et cela du seul suc nourricier que la terre fournit! Les productions que nous rencontrons dans les entrailles de la terre ne sont pas moins admirables, et chaque partie de la nature est capable d'épuiser nos recherches sans pouvoir pénétrer toutes les merveilles de sa construction. On se perd ensuite entièrement si l'on considère comment toutes les matières, la terre, l'eau, l'air et la chaleur, concourent à produire tous les corps organisés, et comme enfin l'arrangement de tous les corps célestes ne pouvait être mieux fait pour remplir tous ces desseins particuliers.

Après ces réflexions, Votre Altesse aura peine à croire qu'il y ait jamais eu des hommes qui pussent soutenir que tout le monde n'était qu'un ouvrage de pur hasard sans aucun dessein. Il y en a cependant eu de tout temps, et il y en a encore qui le soutiennent; mais ce sont toujours de ces gens qui n'ont aucune connaissance solide de la nature, ou plutôt que la crainte d'être obligés de reconnaître un Être suprême a précipités dans cette extravagance. Or, nous sommes convaincus qu'il y a un Être suprême qui a créé l'univers entier; et je viens de faire remarquer, pour ce qui regarde les corps, que tout a été créé dans la plus grande perfection.

Mais pour les esprits, la méchanceté des hommes semble y donner atteinte; parce qu'elle n'est que trop capable d'introduire les plus grands maux dans le monde, et que ces maux ont de tout temps paru incompatibles avec la souveraine bonté de Dieu. C'est ce qui arme ordinairement les incrédules contre la religion et l'existence de Dieu. Ils disent : Si Dieu était l'auteur du monde, il serait aussi l'auteur des maux qui s'y trouvent, et par conséquent aussi des péchés, ce qui renverserait la religion.

La question sur l'origine des maux, et comment ils peuvent subsister avec la bonté souveraine de Dieu, a toujours tourmenté tant les philosophes que les théologiens. Quelques-uns ont tâché d'en donner une explication; mais la plupart n'ont satisfait qu'à eux-mêmes. D'autres se sont égarés jusqu'à soutenir que Dieu était effectivement l'auteur de tous les maux et des péchés, en protestant cependant que leur sentiment ne devait porter aucune atteinte à la bonté et à la sainteté de Dieu. D'autres enfin regardent cette question comme un mystère incompréhensible pour nous; et ces derniers embrassent sans doute le meilleur parti.

Dieu est souverainement bon et saint; Dieu est l'auteur du monde; le monde fourmille de maux et de péchés. Ce sont trois vérités qu'il paraît difficile d'accorder entre elles; mais il me semble qu'une grande partie de ces difficultés s'évanouit dès qu'on se forme une juste idée des esprits, et de la liberté, qui leur est si essentielle que Dieu même ne saurait les en dépouiller.

Dieu ayant créé les esprits et les âmes des hommes, je remarque d'abord que les esprits sont des êtres infiniment plus excellents que les corps, et qu'ils constituent la principale partie de ces corps. Ensuite au moment de la création les esprits étaient tous bons, puisque les mauvaises inclinations demandent quelque temps pour se former : il n'y a donc aucun inconvénient de dire que Dieu a créé les esprits. Mais comme il est de l'essence des esprits d'être libres, et que la liberté ne saurait subsister sans la possibilité ou le pouvoir de pécher, créer les esprits avec le pouvoir de pécher n'est pas contraire à la perfection de Dieu, parce qu'il n'est pas possible de créer un esprit sans ce pouvoir.

Dieu a aussi tout fait pour prévenir le péché en prescrivant aux esprits des commandements dont l'observation les rendrait toujours bons et heureux. Il n'y a pas d'autre moyen d'agir avec les esprits, sur lesquels aucune contrainte ne peut avoir lieu. Donc, si quelques esprits ont transgressé depuis ces commandements, ils en sont eux-mêmes responsables et coupables, et Dieu n'y a aucune part.

Il ne reste plus que cette objection, qu'il aurait mieux valu de ne pas créer ces esprits que Dieu avait prévu devoir tomber dans le péché; mais cela surpasse beaucoup notre intelligence, et nous ne savons pas si la *défection* de ces esprits aurait pu subsister avec le plan du monde. Nous savons même, par l'expérience, que la méchanceté des hommes contribue souvent beaucoup à corriger les autres et à les conduire au bonheur. Cette seule considération est suffisante pour justifier l'existence des esprits méchants. D'ail-

leurs, puisque Dieu est le maître des suites que les hommes méchants entraînent après eux, chacun peut être assuré que, s'il se conduit conformément aux commandements de Dieu, tous les événements qui lui arrivent, quelque malheureux qu'ils puissent lui paraître d'abord, seront toujours dirigés par la Providence, en sorte qu'ils aboutissent enfin à son vrai bonheur.

La providence de Dieu, qui s'étend à chaque individu en particulier, donne en même temps la solution la plus solide de la question sur la permission et l'origine du mal. C'est aussi sur cela qu'est fondée toute la religion, dont le but unique est de conduire les hommes à leur salut.

30 décembre 1760.

LETTRE XXII.

Connexion des considérations précédentes avec la religion, et réponse aux objections que presque tous les systèmes philosophiques fournissent contre la prière.

Avant que de continuer mes considérations sur la philosophie et sur la physique, il est de la dernière importance d'en faire remarquer à Votre Altesse la connexion avec la religion.

Quelque bizarres et absurdes que soient les sentiments d'un philosophe, il en est tellement entêté qu'il n'admet aucun sentiment ou dogme dans la religion qui ne soit conforme avec son système de philosophie; et c'est de là qu'ont tiré leur origine la plupart des sectes et des hérésies dans la religion. Plusieurs systèmes philosophiques sont réellement en contradiction avec la religion; mais alors les vérités divines devraient bien l'emporter sur les rêveries humaines, si l'orgueil des philosophes n'y mettait aucun obstacle. Or, si la vraie philosophie semble quelquefois contraire à la religion, cette contradiction n'est qu'apparente, et il ne faut jamais se laisser éblouir par des objections.

Je vais entretenir Votre Altesse sur une objection que presque tous les systèmes philosophiques fournissent contre la prière. La religion nous prescrit ce devoir, avec l'assurance que Dieu exaucera nos vœux et nos prières, pourvu qu'ils soient conformes aux règles qu'il nous a données. D'un autre côté, la philosophie nous enseigne que tous les événements de ce monde arrivent conformément au cours de la nature établi dès le commencement, et que nos prières n'y sauraient occasionner aucun changement, à moins

qu'on ne veuille prétendre que Dieu fasse des miracles continuels en faveur de nos prières. Cette objection est d'autant plus forte que la révélation même nous assure que Dieu a établi le cours tout entier de tous les événements dans le monde, et que rien ne saurait arriver que Dieu ne l'ait prévu de toute éternité. Est-il donc croyable, dit-on, que Dieu veuille changer ce cours établi en faveur de toutes les prières que les fidèles lui adressent? C'est ainsi que les incrédules tâchent de combattre notre confiance.

Mais je remarque d'abord que quand Dieu a établi le cours du monde et qu'il a arrangé tous les événements qui devaient y arriver, il a eu en même temps égard à toutes les circonstances qui accompagneraient chaque événement, et en particulier aux dispositions, aux vœux et aux prières de chaque être intelligent, et que l'arrangement de tous les événements a été mis parfaitement d'accord avec toutes les circonstances. Donc, quand un fidèle adresse à présent à Dieu une prière digne d'être exaucée, il ne faut pas s'imaginer que cette prière ne parvient qu'à présent à la connaissance de Dieu. Il a déjà entendu cette prière depuis l'éternité; et puisque ce Père miséricordieux l'a jugée digne d'être exaucée, il a arrangé exprès le monde en faveur de cette prière, en sorte que l'accomplissement fût une suite du cours naturel des événements. C'est ainsi que Dieu exauce les prières des fidèles sans faire des miracles, quoiqu'il n'y ait aucune raison de nier que Dieu ait fait et fasse encore quelquefois de vrais miracles.

Donc, l'établissement du cours du monde une fois fixé, loin de rendre inutiles nos prières, comme les esprits forts le prétendent, il augmente plutôt notre confiance, en nous apprenant cette vérité consolante, que toutes nos prières ont été déjà présentées dès le commencement au pied du trône du Tout-Puissant, et qu'elles ont été placées dans le plan du monde, comme des motifs sur lesquels les événements devaient être réglés, conformément à la sagesse infinie du Créateur.

Voudrait-on croire que notre condition serait meilleure, si Dieu n'avait aucune connaissance de nos prières avant que nous les fissions, et qu'il voulût alors en notre faveur renverser l'ordre de la nature? Cela serait bien contraire à la sagesse de Dieu, et affaiblirait ses perfections adorables. N'aurait-on pas raison de dire alors que ce monde était un ouvrage très-imparfait; que Dieu aurait bien voulu favoriser les vœux des fidèles, mais que, ne les ayant point prévus, il était réduit à interrompre le cours de la nature à chaque instant, à moins qu'il ne veuille tout à fait négliger les besoins des êtres intelligents, qui constituent pourtant la principale

partie du monde? Car à quoi bon d'avoir créé ce monde matériel, rempli des plus grandes merveilles, s'il n'y avait point d'êtres intelligents capables de l'admirer et d'en être ravis à l'adoration de Dieu et à la plus étroite union avec leur Créateur, en quoi consiste sans doute leur plus grande félicité?

De là il faut absolument convenir que les êtres intelligents et leur salut doivent avoir été le principal objet sur lequel Dieu a réglé l'arrangement de ce monde; et nous pouvons être assurés que tous les événements qui arrivent dans ce monde se trouvent dans la plus merveilleuse liaison avec les besoins de tous les êtres intelligents pour les conduire à leur véritable félicité. Cependant ici aucune contrainte ne saurait avoir lieu, à cause de la liberté, qui est aussi essentielle à tous les esprits que l'étendue l'est aux corps. Ainsi il ne faut pas être surpris qu'il y ait des êtres intelligents qui n'arriveront jamais à leur bonheur.

C'est dans cette liaison des esprits avec les événements du monde que consiste la providence divine, à laquelle chacun a la consolation de participer; de sorte que chaque homme peut être assuré que de toute éternité il est entré dans le plan du monde, et que même tout ce qui lui arrive se trouve dans la plus étroite connexion avec ses besoins les plus pressants, et qui tendent à son salut. Combien cette considération doit-elle augmenter notre confiance et notre amour pour la providence divine, sur laquelle est fondée toute la religion! D'où Votre Altesse voit que, de ce côté, la philosophie ne porte aucune atteinte à la religion.

3 janvier 1761.

LETTRE XXIII.

Sur la liberté des êtres intelligents, et qu'elle n'est pas contraire aux dogmes de la religion chrétienne.

La liberté est une propriété si essentielle à tout être spirituel, que Dieu même ne l'en saurait dépouiller; tout de même qu'il ne saurait dépouiller un corps de son étendue ou inertie, sans le détruire ou l'anéantir entièrement : ainsi ôter la liberté à un esprit serait la même chose que de l'anéantir. Cela doit s'entendre de l'esprit ou de l'âme même, et non des actions du corps que l'âme y produit conformément à sa volonté. On n'aurait qu'à me lier les mains pour m'empêcher d'écrire, ce qui est sans doute un acte libre; mais en ce cas, quoiqu'on dise qu'on m'a ôté la liberté d'é-

crire, on n'a ôté qu'à mon corps la faculté d'obéir aux ordres de mon âme. Quelque lié que je sois, on ne saurait éteindre dans mon esprit la volonté d'écrire ; on n'en peut empêcher que l'exécution.

Il faut toujours bien distinguer entre la volonté, ou l'acte même de vouloir, et entre l'exécution qui se fait par le ministère du corps. L'acte même de vouloir ne saurait être arrêté par aucune force extérieure, ni même par celle de Dieu, puisque la liberté est indépendante de toute force extérieure. Mais il y a d'autres moyens d'agir sur les esprits : c'est par des motifs dont le but est, non de contraindre, mais de persuader. Quelque décidé que soit un homme d'entreprendre une certaine action, quoiqu'on en empêche l'exécution, on ne change point sa volonté ni son intention ; mais on pourrait lui exposer des motifs tels qu'ils l'engageraient à abandonner son dessein, le tout cependant sans aucune contrainte. Or, quelque forts que fussent ces motifs, l'homme demeure toujours le maître de vouloir ; on ne saurait jamais dire qu'il y fût forcé ou contraint : et si on le disait, ce serait fort improprement ; car le vrai terme serait celui de *persuader,* qui convient tellement à la nature et à la liberté des êtres intelligents, qu'on ne saurait s'en servir en toute autre occasion. Il serait, par exemple, ridicule, en jouant au billard, de dire que j'ai persuadé la bille d'entrer dans un trou.

Ce sentiment sur la liberté des esprits paraît cependant à quelques-uns contraire à la religion, ou plutôt à quelques passages de l'Écriture sainte, par lesquels on croit pouvoir soutenir que Dieu pourrait dans un moment changer le plus grand scélérat en un homme de bien. Or, cela ne me paraît pas seulement impossible, mais aussi contraire aux déclarations les plus solennelles de l'Écriture sainte. Car, puisque Dieu ne veut pas la mort du pécheur, mais qu'il se convertisse et qu'il vive, pourquoi donc, par un seul acte de sa volonté, ne convertirait-il pas tous les pécheurs? Serait-ce pour ne pas trop multiplier les miracles, comme quelques-uns disent? Mais jamais miracle n'aurait été mieux employé et plus conformément aux vues de Dieu, qui tendent au bonheur des hommes. De là je conclus plutôt que, puisque cette conversion miraculeuse n'arrive pas, la raison en doit être dans la nature même des esprits ; et c'est précisément la liberté, qui, par sa nature, ne saurait souffrir aucune contrainte, ni même de la part de Dieu. Mais, sans agir de force sur les esprits, Dieu a une infinité de moyens de leur représenter des motifs pour les persuader ; et je crois que toutes les rencontres où nous pouvons nous trouver sont à dessein tellement ajustées à notre état par la Providence, que les plus grands scélé-

rats pourraient en tirer les plus forts motifs pour leur conversion, s'ils voulaient les écouter : et je suis assuré qu'un miracle ne produirait pas un meilleur effet sur des esprits gâtés; ils en seraient bien frappés pour quelque temps, mais au fond ils n'en deviendraient pas meilleurs. C'est ainsi que Dieu concourt à la conversion des pécheurs, en leur fournissant les motifs les plus efficaces à ce dessein par les circonstances ou les occasions qu'il leur fait rencontrer.

Si, par exemple, un pécheur, en entendant un beau sermon, en est frappé, rentre en soi-même et se convertit, l'acte de son âme est bien son propre ouvrage; mais l'occasion du sermon qu'il vient d'entendre, dans un temps précisément où il était disposé d'en profiter, n'est rien moins que son ouvrage : c'est la providence divine qui lui a ménagé cette circonstance salutaire; et c'est dans ce sens-là que la sainte Écriture attribue si souvent la conversion des pécheurs à la grâce divine. Car, en effet, sans une telle occasion, dont l'homme n'est pas le maître, il serait demeuré dans ses égarements.

Votre Altesse comprendra facilement par là le sens de ces expressions : « L'homme ne peut rien de soi-même, tout dépend de » la grâce de Dieu, et c'est lui qui opère le vouloir et l'exécution. » Les circonstances favorables que la Providence fournit aux hommes sont suffisantes pour éclaircir ces expressions, sans avoir besoin de recourir à une force cachée, qui agisse par contrainte sur la liberté des hommes.

Jugeons aussi de là des disputes fameuses entre les *pélagiens*, les *semi-pélagiens* et les *orthodoxes*. Les premiers ont soutenu que les pécheurs peuvent se convertir sans que la grâce divine y concoure. Les seconds veulent bien que cette grâce du Tout-Puissant y concoure, mais que les pécheurs mêmes y emploient aussi leurs forces. Mais les orthodoxes prétendent que l'homme n'y contribue rien du tout, et que la grâce divine y achève tout l'ouvrage entier. Selon les éclaircissements ci-dessus, on pourrait soutenir chacun de ces trois sentiments, pourvu qu'on éloigne tout sens absurde, ou qui dépouille les hommes de la liberté, ou qui attribue au hasard toutes les circonstances qu'ils rencontrent. C'est un article fondamental et très-essentiel à la religion, que toutes ces circonstances sont ménagées par Dieu, selon sa plus haute sagesse, pour conduire au bonheur et au salut chaque être intelligent, en tant qu'il ne rejette pas entièrement les moyens par lesquels il pourrait arriver à la véritable félicité.

6 janvier 1761.

LETTRE XXIV.

Éclaircissements ultérieurs sur la nature des esprits.

Pour éclaircir mieux ce que je viens de remarquer sur la différence entre les corps et les esprits (car on ne saurait être trop attentif à ce qui constitue cette différence, qui s'étend même si loin que les esprits n'ont rien de commun avec les corps, ni les corps avec les esprits), je vais encore ajouter les réflexions suivantes.

L'étendue, l'inertie et l'impénétrabilité sont des propriétés des corps; les esprits n'ont ni étendue, ni inertie, ni impénétrabilité. Pour l'étendue, tous les philosophes sont d'accord qu'elle ne saurait avoir lieu dans les esprits. La chose est claire d'elle-même, puisque tout ce qui est étendu est aussi divisible, ou bien on y peut concevoir des parties; or, un esprit n'est susceptible d'aucune division, on ne saurait concevoir la moitié ou le tiers d'un esprit. Tout esprit est plutôt un être entier qui exclut toutes parties : donc on ne saurait dire qu'un esprit ait de la longueur, de la largeur, ou de la profondeur. En un mot, tout ce que nous concevons dans l'étendue doit être exclu de l'idée d'un esprit. De là il semble que, puisque les esprits n'ont point de grandeur, ils sont semblables aux points géométriques, qui n'ont de même ni longueur, ni largeur, ni profondeur. Mais serait-ce une idée bien juste de se représenter un esprit comme un point? Les philosophes scolastiques ont été de ce sentiment, et se sont représenté les esprits comme des êtres infiniment petits, semblables à la poussière la plus subtile, mais doués d'une activité et d'une agilité inconcevable, par laquelle ils seraient en état de sauter dans un instant aux plus grandes distances. A cause de cette extrême petitesse, ils ont soutenu que des millions d'esprits pourraient être renfermés dans le plus petit espace : ils ont même mis en question combien d'esprits pourraient danser sur la pointe d'une aiguille. Les sectateurs de Wolf sont à peu près dans le même sentiment. Selon eux, tous les corps sont composés de particules extrêmement petites, dépouillées de toute grandeur; et ils leur donnent le nom de *monades :* de sorte qu'une monade est une substance sans aucune étendue : ou bien, en divisant un corps jusqu'à ce qu'on parvienne à des particules si petites qu'elles ne soient susceptibles d'aucune division ultérieure, on parvient aux monades wolfiennes, qui ne diffèrent donc d'une poussière très-subtile que parce que les molécules de la poussière ne sont pas

peut-être assez petites, et qu'il faudrait les diviser encore plus loin pour obtenir les véritables monades.

Or, selon M. Wolf, non-seulement tous les corps sont composés de monades, mais aussi chaque esprit n'est autre chose qu'une monade; et même l'Être souverain, je n'ose presque le dire, est aussi une telle monade; ce qui donne une idée peu magnifique de Dieu, des esprits et de nos âmes. Je ne saurais concevoir que mon âme ne soit qu'un être semblable aux dernières particules d'un corps, ou qu'elle ne soit presque qu'un point. Encore moins me paraît-il soutenable que plusieurs âmes prises et jointes ensemble pourraient former un corps : par exemple, un morceau de papier, avec lequel on pourrait allumer une pipe de tabac. Mais les partisans de ce sentiment se tiennent à cette raison que, puisqu'un esprit n'a aucune étendue, il faut bien qu'il soit semblable à un point géométrique. Tout revient donc à examiner si cette raison est solide ou non.

Je remarque d'abord que, puisqu'un esprit est un être d'une nature tout à fait différente de celle d'un corps, on y saurait même appliquer les questions qui supposent une grandeur; et il serait absurde de demander de combien de pieds ou de pouces un esprit est long, ou de combien de livres ou d'onces il est pesant. Ces questions ne peuvent être faites que sur des choses qui ont une longueur ou un poids: elles sont aussi absurdes que si, en parlant d'un temps, on voulait demander, par exemple, de combien de pieds une heure serait longue, ou combien de livres elle pèserait. Je puis toujours dire qu'une heure n'est pas égale à une ligne de 100 pieds, ou de 10 pieds, ou d'un pied, ni à aucune autre mesure; mais il ne s'ensuit pas de là qu'une heure soit un point géométrique. Une heure est d'une nature tout à fait différente, et on ne saurait lui appliquer aucune question qui suppose une longueur exprimable par pieds ou par pouces.

Il en est de même d'un esprit. Je puis toujours dire hardiment qu'un esprit n'est pas de dix pieds, ni de cent pieds, ni d'aucun autre nombre de pieds, mais de là il ne s'ensuit pas qu'un esprit soit un point; aussi peu qu'une heure soit un point, parce qu'elle ne peut être mesurée par pieds et par pouces. Un esprit n'est donc pas une monade, ou semblable aux dernières particules dans lesquelles les corps peuvent être divisés; et Votre Altesse comprendra maintenant très-bien qu'un esprit peut n'avoir aucune étendue, sans pour cela être un point ou une monade. Il faut donc éloigner toute idée d'étendue de l'idée d'un esprit.

Ce sera donc aussi une question absurde de demander en quel lieu un eprit existe; car, dès qu'on attache un esprit à un lieu, on

lui suppose une étendue. Je ne saurais dire non plus en quel lieu se trouve une *heure*, quoiqu'une heure soit sans doute quelque chose : ainsi quelque chose peut être sans qu'elle soit attachée à un certain lieu. De la même manière je puis dire que mon âme n'existe pas dans ma tête, ni hors de ma tête, ni en quelque lieu que ce soit, sans qu'on en puisse tirer la conséquence que mon âme n'existe point du tout ; aussi peu que l'heure d'à présent, dont je puis dire véritablement qu'elle n'existe ni dans ma tête, ni hors de ma tête. Un esprit existe donc sans qu'il existe dans un certain lieu; mais si nous faisons réflexion au pouvoir qu'un esprit peut avoir d'agir sur un certain corps, cette action se fait sans doute dans un certain lieu.

Ainsi, mon âme n'existe pas dans un certain lieu, mais elle agit dans un certain lieu ; et puisque Dieu a le pouvoir d'agir sur tous les corps, c'est à cet égard qu'on dit que Dieu est partout, quoique son existence ne soit attachée à aucun lieu.

10 janvier 1761.

LETTRE XXV.

Continuation sur le même sujet, et réflexions sur l'état des âmes après la mort.

Votre Altesse trouvera bien étrange le sentiment que je viens d'avancer, que les esprits, en vertu de leur nature, ne sont nulle part. En prononçant ces mots, je risquerais d'être pris pour un homme qui nie l'existence des esprits, et par conséquent aussi celle de Dieu. Mais j'ai déjà fait sentir qu'une chose peut exister et avoir de la réalité sans qu'elle soit attachée à aucun endroit. Le faible exemple tiré d'une heure lève les plus grandes difficultés, quoiqu'il y ait d'ailleurs encore une différence infinie entre une heure et un esprit.

Cette idée que je me forme des esprits me paraît infiniment plus noble que celle de ceux qui regardent les esprits comme des points géométriques, et qui renferment même Dieu dans cette classe. Qu'y a-t-il de plus choquant que de confondre tous les esprits, et même Dieu avec les plus petites particules dans lesquelles un corps peut être divisé, et les ranger dans la même classe avec ces chétives particules, qui ne deviennent pas plus nobles par le nom savant de *monade?*

Être dans un certain lieu est un attribut qui ne convient qu'à des choses corporelles ; et puisque les esprits sont d'une tout autre na-

ture, on ne doit pas être surpris quand on dit que les esprits ne se trouvent dans aucun lieu, ou, ce qui signifie la même chose, nulle part; et, d'après ces éclaircissements, je ne crains point de reproches à cet égard. C'est par là que j'élève la nature des esprits infiniment au-dessus de celle des corps. Tout esprit est un être pensant, réfléchissant, raisonnant, délibérant, agissant librement, et en un mot vivant; pendant que le corps n'a d'autres qualités que d'être étendu, susceptible de mouvement et impénétrable : d'où résulte cette qualité universelle, que chaque corps demeure dans le même état tant qu'il n'y a point de danger qu'il arrive quelque pénétration : et, dans le cas où les corps se pénétreraient, s'ils continuaient à demeurer dans leur état, leur *impénétration* même fournit les forces nécessaires pour changer leur état autant qu'il le faut pour prévenir toute pénétration. C'est en quoi consistent tous les changements qui arrivent dans les corps : tout n'y est que passif; et tout y arrive nécessairement, et conformément aux lois du mouvement. Dans les corps il n'y a ni intelligence, ni volonté, ni liberté; ce sont les qualités éminentes des esprits, pendant que les corps n'en sont pas même susceptibles.

C'est aussi des esprits que, dans le monde corporel, les principaux événements et les belles actions tirent leur origine; et cela arrive par l'action et l'influence que les âmes des hommes ont chacune sur leur corps. Or, cette puissance que chaque âme a sur son corps ne saurait être regardée que comme un don de Dieu, qui a établi cette merveilleuse liaison entre les âmes et les corps : et puisque mon âme se trouve dans une telle liaison avec une certaine particule de mon corps cachée dans le cerveau, je puis bien dire que le siége de mon âme est au même endroit, quoiqu'à proprement parler mon âme n'existe nulle part, et ne se rapporte à cet endroit qu'en vertu de son action et de son pouvoir. C'est aussi l'influence de l'âme sur le corps qui en constitue la vie, qui dure aussi long-temps que cette liaison subsiste ou que l'organisation du corps demeure dans son entier. La mort n'est donc autre chose que la destruction de cette liaison; ensuite l'âme n'a pas besoin d'être transportée autre part : car puisqu'elle n'est nulle part, elle est indifférente à tous les lieux; et, par conséquent, s'il plaisait à Dieu d'établir après ma mort une nouvelle liaison entre mon âme et un corps organisé dans la lune, je serais dès l'instant dans la lune, sans avoir fait aucun voyage; et même si à l'heure qu'il est Dieu accordait à mon âme aussi un pouvoir sur un corps organisé dans la lune, je serais également ici et dans la lune, et il n'y aurait en cela aucune contradiction. Ce ne sont que les corps qui ne

peuvent être en même temps à deux endroits; mais, pour les esprits, qui n'ont aucun rapport aux lieux en vertu de leur nature, rien n'empêche qu'ils ne puissent agir à la fois sur plusieurs corps situés dans des endroits fort éloignés entre eux; et, à cet égard, on pourrait bien dire qu'ils se trouvent à la fois dans tous ces endroits.

Cela nous fournit un bel éclaircissement pour concevoir comment Dieu est partout : c'est que son pouvoir s'étend à tout l'univers et à tous les corps qui s'y trouvent. Par cette raison il me semble qu'il ne serait pas bien de dire que Dieu existât partout, puisque l'existence d'un esprit ne se rapporte à aucun endroit : il faudrait plutôt dire que Dieu est présent partout; et c'est aussi le langage de la révélation.

Qu'on compare maintenant cette idée avec celle des wolfiens, qui, présentant Dieu sous la forme d'un point, l'attachent à un certain lieu, puisque, en effet, un point ne saurait être à la fois en plusieurs lieux; et comment pourrait-on concilier la toute-présence avec l'idée d'un point, et encore moins la toute-puissance?

La mort étant une dissolution de l'union qui subsiste entre l'âme et le corps pendant la vie, on peut se former quelque idée de l'état de l'âme après la mort. Comme l'âme, pendant la vie, tire toutes ses connaissances par le moyen des sens, étant dépouillée par la mort de ce rapport des sens, elle n'apprend plus rien de ce qui se passe dans le monde matériel; elle parvient à peu près dans le même état où se trouverait un homme qui serait devenu tout d'un coup aveugle, sourd, muet, et privé de l'usage de tous les autres sens. Cet homme conserverait bien les connaissances qu'il aurait acquises par le secours des sens, et il pourrait bien continuer à y faire ses réflexions; surtout les propres actions qu'il a commises lui en fourniraient un grand sujet; enfin la faculté de raisonner lui resterait bien entière, puisque le corps n'y concourt en aucune manière.

Le sommeil nous fournit aussi un bel échantillon de cet état, parce que l'union entre l'âme et le corps y est en grande partie interrompue; quoique l'âme ne laisse pas alors d'être active et de s'occuper à ses rêveries, qui fournissent les songes. Pour l'ordinaire les songes sont fort troublés par le reste de l'influence que les sens ont encore sur l'âme, et on sait par l'expérience que plus cette influence est arrêtée, ce qui arrive dans un sommeil très-profond, plus aussi les songes sont réguliers et liés. Ainsi après la mort nous nous trouverons dans un état des songes les plus parfaits, que rien ne sera plus capable de troubler; ce seront des représen-

tations et des raisonnements parfaitement bien soutenus. Et c'est, à mon avis, à peu près tout ce que nous saurions en dire de positif.

13 janvier 1761.

LETTRE XXVI.

Considérations plus détaillées sur l'action de l'âme sur le corps, et réciproquement du corps sur l'âme.

L'âme étant la principale partie de notre être, elle vaut bien la peine que nous tâchions d'en approfondir les opérations. Votre Altesse se rappellera que l'union entre l'âme et le corps renferme une double influence : par l'une l'âme aperçoit et sent tout ce qui se passe dans un certain endroit du cerveau, et par l'autre elle a le pouvoir d'agir sur cette même partie du cerveau et d'y produire certains mouvements. Les anatomistes se sont donné bien de la peine pour découvrir cet endroit du cerveau qu'on a raison de nommer le siége de l'âme; non que l'âme s'y trouve actuellement, puisqu'elle n'est renfermée dans aucun lieu, mais parce que le pouvoir d'agir y est attaché. On peut dire que l'âme y est présente, mais non qu'elle y existe, ou que son existence y soit bornée. Cet endroit du cerveau est sans doute celui où tous les nerfs aboutissent; or, les anatomistes prétendent que cela se fait dans une certaine partie du cerveau qu'ils nomment le *corps calleux*. C'est donc ce corps calleux que nous pouvons regarder comme le siége de l'âme ; et le Créateur a accordé à chaque âme un tel pouvoir sur le corps calleux de son corps, qu'elle y aperçoit non-seulement tout ce qui se passe, mais qu'elle y peut produire certaines impressions. Nous devons donc reconnaître ici une double action : l'une par laquelle le corps agit sur l'âme, et l'autre par laquelle l'âme agit sur le corps; mais ces actions sont infiniment différentes de celles où les corps agissent sur les corps.

Par cette union de l'âme avec le corps calleux elle se trouve dans la plus étroite liaison avec le corps tout entier, par le moyen des nerfs qui sont distribués par tout le corps. Or les nerfs sont des fibres merveilleuses, et, selon toute apparence, remplies d'un fluide extrêmement subtil; de sorte que le moindre changement qu'ils éprouvent à une extrémité est dans le même instant communiqué à l'autre extrémité dans le cerveau, où est le siége de l'âme. Réciproquement, la moindre impression que l'âme fait sur les ex-

trémités des nerfs dans le corps calleux se transmet dans un instant par toute l'étendue de chaque nerf; et c'est par ce moyen que les muscles et les membres de notre corps sont mis en mouvement et obéissent aux ordres de l'âme.

Cette merveilleuse construction de notre corps le met dans une fort étroite liaison avec tous les objets extérieurs tant voisins qu'éloignés ; ceux-là peuvent agir sur notre corps, ou par l'attouchement immédiat, comme il arrive dans le toucher et le goût, ou par leurs exhalaisons sur l'odorat. Les corps les plus éloignés agissent sur l'ouïe lorsqu'ils frémissent, et excitent dans l'air des vibrations qui viennent frapper nos oreilles; ensuite ils agissent aussi sur la vue lorsqu'ils sont éclairés et qu'ils transmettent des rayons de lumière dans nos yeux, lesquels consistent pareillement dans une certaine vibration causée dans ce milieu plus subtil que l'air, qu'on nomme éther. C'est ainsi que les corps tant voisins qu'éloignés peuvent agir sur les nerfs de notre corps, et causer certaines impressions dans le corps calleux, d'où l'âme tire ses perceptions.

De tout ce qui fait donc une impression sur nos nerfs, il résulte un certain changement dans le cerveau, dont l'âme s'aperçoit, et en acquiert l'idée de l'objet qui a causé ce changement. Il y a donc ici deux choses à examiner : l'une est corporelle ou matérielle, c'est l'impression ou le changement causé dans le corps calleux du cerveau; l'autre est immatérielle ou spirituelle, c'est la perception ou la connaissance que l'âme en tire. C'est pour ainsi dire la contemplation de ce qui se passe dans le corps calleux, d'où toutes nos connaissances tirent leur origine.

Votre Altesse me permettra d'entrer dans un plus grand détail sur cet article important. Ne considérons d'abord qu'un seul sens, comme celui de l'odorat, qui, étant le moins compliqué, paraît le plus propre pour nous guider dans nos recherches. Que tous les autres sens soient supposés bouchés, et qu'on approche une rose du nez ; les exhalaisons de cette fleur exciteront d'abord une certaine agitation dans les nerfs du nez, qui étant transmise jusqu'au corps calleux y causera aussi quelque changement; et c'est en quoi consiste le matériel qui arrive à cette occasion. Ce petit changement causé dans le corps calleux est ensuite aperçu de l'âme, et elle en acquiert l'idée de l'odeur d'une rose; c'est ici le spirituel qui arrive : et nous ne saurions expliquer la manière dont cela se fait, puisqu'elle dépend de l'union miraculeuse que le Créateur a établie entre l'âme et le corps. Il est certain cependant que, lorsque ce changement se fait dans le corps calleux, il naît dans l'âme l'idée de l'odeur d'une rose; ou bien la contemplation de ce changement

fournit à l'âme une certaine idée, qui est celle de l'odeur de la rose, mais rien au delà : car, puisque les autres sens sont fermés, l'âme ne saurait juger de la nature de l'objet même qui a occasionné cette idée; ce n'est que cette seule idée de l'odeur de la rose qui s'excite dans l'âme. Nous comprenons de là que l'âme ne se forme pas elle-même cette idée, qui lui serait demeurée inconnue sans la présence d'une rose. Il y a plus : l'âme n'est pas indifférente à cet égard, la perception de cette idée lui est agréable, l'âme en quelque manière y est intéressée elle-même. Aussi dit-on que l'âme sent l'odeur de la rose, et cette perception se nomme *sensation*.

Il en est de même de tous les autres sens; chaque objet dont ils sont frappés excite dans le corps calleux un certain changement, que l'âme observe avec un certain sentiment agréable ou désagréable, et elle en tire une idée proportionnée à l'objet qui en est la cause. Cette idée est accompagnée d'une sensation, qui est d'autant plus forte et plus sensible que l'impression sur le corps calleux sera vive. C'est ainsi que l'âme, en contemplant les changements causés dans le corps calleux, acquiert des idées et en est affectée; et c'est ce qu'on entend sous le nom de sensation.

17 janvier 1761.

LETTRE XXVII.

Sur les facultés de l'âme et sur le jugement.

Si nous n'avions d'autre sens que l'odorat, nos connaissances seraient bien bornées : nous n'aurions d'autres sensations que des odeurs, dont la diversité, quelque grande qu'elle pût être, n'intéresserait pas beaucoup notre âme, si ce n'est que les odeurs agréables lui causeraient quelque plaisir, et les désagréables quelque déplaisir.

Mais cette même circonstance nous conduit à une question très-importante : D'où vient qu'une odeur nous est agréable, et une autre désagréable? Il n'y a aucun doute que les odeurs agréables ne produisent dans le corps calleux une autre agitation que les odeurs désagréables; mais pourquoi une agitation dans le corps calleux peut-elle plaire à l'âme, pendant qu'une autre lui déplaît, et lui est souvent même insupportable? La cause de cette différence ne réside plus dans le corps et la matière; il faut la chercher dans la nature même de l'âme, qui jouit d'un certain plaisir à sentir cer-

taines agitations, pendant que d'autres lui causent de la peine; et par cette raison la véritable cause nous est inconnue.

Nous comprenons par là que l'âme fait plus que simplement apercevoir ce qui se passe dans le cerveau ou le corps calleux; elle joint à la sensation un jugement sur l'agréable et le désagréable : et par conséquent elle exerce, outre la faculté d'apercevoir, encore une autre faculté différente, qui est celle de juger; et ce jugement est tout à fait différent de la simple idée d'une odeur.

La même considération du seul sens de l'odorat nous découvre encore d'autres actions de l'âme. Dès que les odeurs changent, ou qu'on présente au nez un œillet après une rose, l'âme aperçoit non-seulement l'une et l'autre odeur, mais elle remarque aussi une différence. De là nous voyons que l'âme conserve encore l'idée précédente, pour la conserver avec la suivante; c'est en quoi consiste la *réminiscence* ou la *mémoire*, par laquelle nous pouvons rappeler les idées précédentes et passées. Or, la véritable source de la mémoire nous est encore entièrement cachée. Nous savons bien que le corps y a beaucoup de part, puisque l'expérience nous apprend que des maladies et d'autres accidents arrivés au corps affaiblissent et détruisent souvent la mémoire; cependant il est également certain que le rappel des idées est un ouvrage propre de l'âme. Une idée rappelée est essentiellement différente d'une idée actuellement excitée par un objet. Je me souviens bien du soleil que j'ai vu aujourd'hui, mais cette idée diffère beaucoup de celle que j'ai eue en regardant le soleil.

Quelques auteurs prétendent que, quand on rappelle une idée, il arrive dans le cerveau une agitation semblable à celle qui a fait naître cette idée; mais si cela était, je verrais actuellement le soleil, ce ne serait plus l'idée rappelée. Ils disent bien que l'agitation qui accompagne l'idée rappelée est beaucoup plus faible que l'actuelle; mais cela ne me satisfait pas non plus : il s'ensuivrait que quand je me rappelle l'idée du soleil, ce serait autant que si je voyais la lune, dont la lumière, comme Votre Altesse se souviendra, est environ 200,000 fois plus faible que celle du soleil. Mais voir la lune actuellement, et se souvenir simplement du soleil, sont deux choses tout à fait différentes. Nous pouvons bien dire que les idées rappelées sont les mêmes que les actuelles, mais cette identité ne se rapporte qu'à l'âme : à l'égard du corps, l'idée actuelle est accompagnée d'une certaine agitation dans le cerveau, pendant que la rappelée en est destituée. Aussi dit-on que l'idée que je sens actuellement, ou qu'un objet qui agit sur mes sens excite dans mon âme, est une sensation; mais on ne saurait dire qu'une idée rappelée

fût une sensation. Souvenir et sentir demeurent toujours deux choses infiniment différentes.

Donc, lorsque l'âme compare entre elles deux odeurs différentes, l'une dont elle a l'idée actuellement par la présence d'un objet qui agit sur le sens de l'odorat, et l'autre qu'elle a eue autrefois et qu'elle se rappelle à présent, elle a en effet deux idées à la fois, l'idée actuelle et l'idée rappelée; et en prononçant laquelle lui est plus ou moins agréable ou désagréable, elle déploie une faculté particulière, distinguée de celle par laquelle elle ne fait que contempler ce qui se présente dans son siége ou dans le corps calleux.

Mais l'âme exerce encore d'autres opérations lorsqu'on lui présente successivement plusieurs odeurs; car pendant qu'elle est frappée de chacune, elle se souvient des précédentes : et de là elle acquiert une notion du passé et du présent, et même du futur, en tant qu'elle entend parler de nouvelles sensations semblables à celles qu'elle vient d'éprouver. Elle en tire aussi l'idée de la succession, en tant qu'elle sent successivement d'autres impressions; et de là résulte l'idée de la *durée* et du *temps;* et en remarquant la diversité des sensations qui se succèdent l'une à l'autre, elle commence à compter *un, deux, trois,* etc. ; quoique cela n'aille pas loin, à cause du défaut de signes ou noms pour marquer les nombres. Car je suppose ici un homme qui ne commence qu'à exister, et qui n'a encore éprouvé d'autres sensations que celles dont je viens de parler : il est encore fort éloigné de l'usage de la langue; il ne sait que déployer ses premières facultés sur les simples idées que le sens de l'odorat lui présente.

Votre Altesse voit donc que cet homme est déjà parvenu à se former des idées de la diversité, du présent, du passé, et même du futur; ensuite, de la succession. de la durée du temps et des nombres, au moins les plus simples. Quelques auteurs prétendent que cet homme ne saurait acquérir l'idée de la durée du temps, sans une succession de diverses sensations; mais il me semble que la même sensation, par exemple l'odeur de la rose, lui étant continuée long-temps, il en serait autrement affecté que si cette sensation ne durait que peu de temps. Une fort longue durée de la même sensation lui causerait enfin l'ennui, ce qui exciterait en lui nécessairement l'idée de la durée. Il faut bien convenir que l'âme de cet homme éprouve un autre effet lorsque la même sensation dure long-temps que lorsqu'elle ne dure qu'un moment; et l'âme s'apercevra bien de cette différence : elle aura donc quelque idée de la durée et du temps sans que les sensations varient.

Ce sont des réflexions que l'âme fait à l'occasion de ses sensations,

et qui appartiennent proprement à la *spiritualité* de l'âme, le corps ne lui fournissant que de simples sensations. Or, déjà leur perception est un acte de la spiritualité de l'âme; car un corps ne saurait jamais acquérir des idées, et encore moins y faire des réflexions.

20 janvier 1761.

LETTRE XXVIII.

Sur la conviction de l'existence de ce que nous apercevons par les sens. Des idéalistes, égoïstes et matérialistes.

Dans toutes les sensations que nous éprouvons lorsque quelqu'un de nos sens est frappé par quelque objet, il est très-important de remarquer que notre âme acquiert non-seulement une idée conforme à l'impression faite sur nos nerfs, mais qu'elle juge, en même temps, qu'il existe actuellement hors de nous un objet qui nous a fourni cette idée. Quelque naturel que cela nous paraisse, il ne laisse pas d'être bien surprenant quand nous examinons plus soigneusement ce qui se passe alors dans notre cerveau. Un exemple mettra cela dans tout son jour. Je supposerai que Votre Altesse regarde de nuit vers la pleine lune, et d'abord les rayons qui entrent dans ses yeux y peindront sur la rétine une image semblable à la lune : c'est que les moindres particules de la rétine sont mises par les rayons dans une vibration semblable à celle qui règne dans les rayons de la lune. Or, la rétine n'étant qu'un tissu extrêmement subtil de nerfs, Votre Altesse comprend que ces mêmes nerfs en souffriront une certaine agitation, qui sera transmise jusqu'à l'origine des nerfs dans le fond du cerveau, ou bien dans le corps calleux, où est le siége de l'âme. Il y arrivera donc aussi une certaine agitation, qui est le véritable objet que l'âme contemple et dont elle puise une certaine connaissance, qui est l'idée de la lune. Par conséquent l'idée de la lune n'est autre chose que la contemplation de cette légère agitation qui est arrivée dans l'origine des nerfs.

L'activité de l'âme est tellement attachée à cet endroit où les nerfs aboutissent, qu'elle ne sait absolument rien des images dépeintes au fond de ses yeux, et encore moins de la lune, dont les rayons ont formé ces images. Cependant l'âme ne se contente point de la seule spéculation de l'agitation dans le cerveau, qui lui fournit immédiatement l'idée de la lune; mais elle y joint le jugement qu'il existe hors de nous réellement un objet que nous nommons la *lune*. Ce jugement se réduit au raisonnement suivant.

Il arrive dans mon cerveau une certaine agitation ou impression, je ne sais absolument point par quelle cause elle a été produite; puisque je ne sais même rien des images sur la rétine, qui en sont la cause immédiate. Nonobstant cela, je prononce hardiment qu'il y a hors de moi un corps, savoir, la lune, qui m'a fourni cette sensation.

Quelle conséquence! Ne serait-il pas plus probable que cette agitation ou impression dans mon cerveau fût produite par quelque cause interne, comme le mouvement du sang, ou peut-être par un pur hasard? De quel droit en puis-je donc conclure que la lune existe réellement? Si j'en concluais qu'il y a au fond de mon œil une certaine image, cela pourrait passer; puisqu'en effet cette image est la cause immédiate de l'impression arrivée dans le cerveau, quoique cette conclusion fût déjà assez hardie. Mais je vais beaucoup plus loin, et de ce qu'il y a une certaine agitation dans mon cerveau j'avance la conclusion qu'il existe hors de mon corps, même dans le ciel, un corps qui est la première cause de ladite impression, et que ce corps est la lune.

Dans le sommeil, quand nous songeons voir la lune, l'âme acquiert la même idée; et peut-être se fait-il alors une semblable agitation dans le cerveau, puisque l'âme s'imagine alors voir réellement la lune. Or, il est certain que nous nous trompons alors; mais quelle assurance avons-nous que notre jugement est mieux fondé quand nous veillons? C'est une grande difficulté, sur laquelle plusieurs philosophes se sont terriblement égarés.

Ce que je viens de dire sur la lune a également lieu à l'égard de tous les corps que nous voyons. On ne voit aucune conséquence pourquoi des corps hors de nous devraient exister, par la seule raison que notre cerveau éprouve certaines agitations ou impressions. Cela regarde même nos propres membres et notre corps tout entier, dont nous ne connaissons rien que par le moyen des sens, et quelques légères impressions qui en sont faites dans le cerveau: donc, si ces impressions et les idées que l'âme en tire ne prouvent rien pour l'existence des corps, l'existence de notre propre corps devient également douteuse.

De là Votre Altesse ne sera pas surprise qu'il y ait eu des philosophes qui ont nié hautement l'existence de tous les corps; et en effet, il est très-difficile de les réfuter. Ils tirent une preuve bien forte des songes, où nous nous imaginons voir tant de corps qui n'existent point. On dit bien que ce n'est alors qu'une illusion; mais qui nous garantit qu'en veillant nous ne soyons pas assujettis à la même illusion? Selon ces philosophes, ce n'est pas même une

illusion : l'âme aperçoit bien une certaine impression ou idée, mais ils nient hautement qu'il s'ensuive que des corps qui répondent à ces idées existent réellement ; il est aussi presque impossible de montrer cette connaissance On nomme les philosophes de ce sentiment *idéalistes*, puisqu'ils n'admettent que les idées des choses matérielles en niant absolument leur existence ; on les pourrait aussi nommer *spiritualistes*, puisqu'ils soutiennent qu'il n'existe d'autres êtres que des esprits.

Or, comme nous ne connaissons les autres esprits que par le moyen des sens ou des idées, il y a des philosophes qui vont jusqu'à nier l'existence de laquelle chacun est pleinement convaincu. Ils sont nommés *égoïstes*, puisqu'ils prétendent que rien n'existe, excepté leur âme.

Ces philosophes sont opposés à ceux qu'on nomme *matérialistes*, qui nient l'existence de tous les esprits et soutiennent que tout ce qui existe est la matière, et que ce que nous nommons notre âme n'est qu'une matière très-subtile, et par là capable de penser. Ce sentiment est beaucoup plus absurde que celui des premiers; et on a des arguments invincibles pour le renverser, pendant qu'on attaque inutilement les idéalistes et les égoïstes.

24 janvier 1761.

LETTRE XXIX.

Réfutation du sentiment des idéalistes.

Je souhaiterais pouvoir fournir à Votre Altesse les armes nécessaires pour combattre les idéalistes et les égoïstes, et démontrer qu'il existe une liaison réelle entre nos sensations et les objets mêmes qui en sont représentés ; mais plus j'y pense, plus je dois avouer mon insuffisance.

Pour les égoïstes, ce serait même ridicule de vouloir s'engager avec eux ; car un homme qui s'imagine qu'il existe tout seul, et ne veut pas croire que j'existe, agirait contre son système s'il écoutait mes raisons, qui, selon lui, seraient des raisons d'un rien. Mais il est aussi difficile de disputer avec les idéalistes, et il me semble même impossible de convaincre sur l'existence des corps un homme qui s'obstine à la nier. Je doute que ces philosophes agissent de bonne foi ; cependant il serait bien à souhaiter que nous eussions des raisons assez fortes pour nous convaincre nous-mêmes que,

toutes les fois que notre âme éprouve certaines sensations, on en peut sûrement conclure qu'il existe aussi certains corps; et que, quand mon âme est affectée par la sensation de la lune, je puis hardiment conclure sur l'existence de la lune. Mais la liaison que le Créateur a établie entre notre âme et notre cerveau est un si grand mystère, que nous n'en connaissons autre chose sinon que certaines impressions faites dans le cerveau, où est le siége de l'âme, excitent dans l'âme certaines idées on sensations; mais le *comment* de cette influence nous est absolument inconnu. Nous devons nous contenter de savoir que cette influence subsiste, ce que l'expérience nous confirme suffisamment; et nous ne saurions approfondir la manière dont cela se fait. Or la même expérience qui nous en convainc nous apprend aussi que chaque sensation porte l'âme toujours à croire qu'il existe actuellement hors d'elle quelque objet qui a occasionné cette sensation, et la même sensation nous découvre aussi plusieurs propriétés de l'objet.

C'est donc un fait bien constaté que d'une sensation quelconque l'âme conclut toujours à l'existence d'un objet réel qui se trouve hors de nous. Cela nous est si naturel dès la première enfance et si général à tous les hommes, et même à tous les animaux, qu'on ne saurait dire que ce soit un préjugé. Un chien, en me voyant et aboyant, est certainement convaincu que j'existe; car ma présence excite en lui l'idée de ma personne. Ce chion n'est donc pas un idéaliste. Même les plus vils insectes sont assurés qu'il y a des corps qui existent hors d'eux, et ils ne sauraient avoir cette conviction que par les sensations qui en sont excitées dans leurs âmes. De là je crois que les sensations renferment quelque chose de plus que ces philosophes ne le pensent. Elles ne sont pas simplement des perceptions de certaines impressions faites dans le cerveau, elles ne fournissent pas à l'âme seulement des idées; mais elles lui représentent effectivement des objets existant hors d'elle, quoiqu'on ne puisse pas comprendre comment cela se pratique. En effet, quelle ressemblance pourrait-il y avoir entre l'idée lumineuse de la lune et cette légère agitation que les rayons de la lune peuvent produire dans le cerveau par le moyen des nerfs?

L'idée, même en tant que l'âme l'aperçoit, n'a rien de matériel; c'est un acte de l'âme, qui est un esprit : donc il ne faut pas chercher un rapport réel entre les impressions du cerveau et les idées de l'âme; il nous suffit de savoir que certaines impressions faites dans le cerveau excitent dans l'âme certaines idées, et que ces idées sont des représentations des objets existant hors de nous, dont elles nous assurent l'existence même. Par cette raison, quand

mon cerveau excite dans mon âme la sensation d'un arbre ou d'une maison, je prononce hardiment qu'il existe réellement hors de moi un arbre ou une maison, dont je connais même le lieu, la grandeur, ou d'autres propriétés. Aussi ne trouve-t-on ni hommes ni bêtes qui doutent de cette vérité. Si un paysan en voulait douter; s'il disait, par exemple, qu'il ne croit pas que son bailli existe, quoiqu'il fût devant lui, on le prendrait pour un fou, et cela avec raison : mais dès qu'un philosophe avance de tels sentiments, il veut qu'on admire son esprit et ses lumières, qui surpassent infiniment celles du peuple. Aussi me paraît-il très-certain que jamais on n'a soutenu de tels sentiments bizarres que par orgueil, et pour se distinguer du commun ; et Votre Altesse conviendra facilement que les paysans ont à cet égard plus de bon sens que ces sortes de savants, qui ne retirent de leurs études d'autres fruits qu'un esprit égaré.

Établissons donc pour une règle certaine que chaque sensation excite dans l'âme, non-seulement une idée; mais qu'elle lui montre pour ainsi dire un objet hors d'elle, dont elle lui assure en même temps l'existence sans la tromper. Mais je redoute ici une objection bien forte, tirée des songes et des rêveries des malades, où l'âme éprouve quantité de sensations d'objets qui n'existent nulle part. Je fais là-dessus cette réflexion : Il faut qu'il nous soit bien naturel de juger que les objets dont l'âme éprouve les sensations existent réellement, puisque nous jugeons même de cette manière dans le sommeil, quoique nous nous trompions alors; mais il ne s'ensuit pas que nous nous trompions également en veillant. Or, pour résoudre cette objection, il vaudrait mieux connaître la différence entre sommeiller et veiller, et que peut-être personne ne connaît moins que les savants; ce qui paraîtra bien surprenant à Votre Altesse.

27 janvier 1761.

LETTRE XXX.

De la faculté de sentir. Sur la réminiscence, la mémoire et l'attention. Des idées simples et composées.

Votre Altesse vient de voir que les objets, en agissant sur nos sens, excitent dans notre âme des sensations par lesquelles nous jugeons que ces objets existent réellement hors de nous. Quoique les impressions qui occasionnent les sensations se trouvent dans

le cerveau, ils présentent alors à l'âme une espèce d'image semblable à l'objet que l'âme aperçoit, et que l'on nomme *idée sensible*, puisqu'elle est excitée par les sens. Ainsi, en voyant un chien, l'âme acquiert l'idée de ce chien ; et c'est par le moyen des sens que l'âme parvient à la connaissance de ce chien, et, en général, des objets externes, et qu'elle en acquiert les idées sensibles, qui renferment le fondement de toutes nos connaissances.

Cette faculté de l'âme, par laquelle elle connaît les choses externes, est nommée la *faculté de sentir*, laquelle dépend sans doute de la merveilleuse liaison que le Créateur a établie entre l'âme et le cerveau. Or l'âme a encore une autre faculté, c'est de se rappeler les idées qu'elle a déjà eues par les sens ; et cette faculté est nommée la *réminiscence* ou l'*imagination*. Ainsi, quand Votre Altesse aurait vu une fois un éléphant, elle se pourrait rappeler la même idée, quoique l'éléphant ne fût plus présent. Il y a cependant une grande différence entre les idées qu'on sent actuellement et les idées rappelées, celles-là font une impression beaucoup plus vive et plus intéressante que celles-ci ; mais la faculté de se rappeler les idées renferme la principale source de toutes nos connaissances.

Si nous perdions d'abord les idées des objets dès qu'ils n'agiraient plus sur nos sens, aucune réflexion ou comparaison ne pourrait avoir lieu ; et notre connaissance se bornerait uniquement aux choses que nous sentirions actuellement, toutes les idées précédentes étant éteintes, tout comme si nous ne les avions jamais eues.

C'est donc une propriété très-essentielle à tous les êtres raisonnables, et dont même les animaux sont doués, de pouvoir rappeler les idées passées. Votre Altesse comprend bien que cette propriété renferme la *mémoire*. Cependant il ne s'ensuit pas que nous puissions toujours nous souvenir de toutes les idées passées : combien de fois nous efforçons-nous inutilement de rappeler quelques idées que nous avons eues autrefois ! Quelquefois les idées s'oublient entièrement ; mais ordinairement nous ne les oublions qu'à demi. S'il arrivait, par exemple, que Votre Altesse oubliât la démonstration du théorème de Pythagore, il se pourrait bien que, malgré tous ses soins, elle ne s'en souvînt plus; mais cet oubli ne serait qu'à demi : dès que j'aurais l'honneur de lui retracer la figure et de la mettre sur la route de la démonstration, elle s'en souviendrait aussitôt certainement, et cette seconde démonstration ferait une tout autre impression sur son esprit que la première. On voit par là que la réminiscence des idées n'est pas toujours en notre

pouvoir, quoiqu'elles ne soient pas éteintes; cependant une légère circonstance est souvent capable de les reproduire.

Il faut donc soigneusement distinguer les idées sensibles des idées rappelées : les idées sensibles nous sont représentées par les sens ; mais les rappelées, nous les formons nous-mêmes sur le modèle des idées sensibles en tant que nous nous en souvenons.

La doctrine des idées est de la dernière importance pour approfondir la véritable source de toutes nos connaissances. D'abord on distingue les idées en *simples* et *composées*. Une idée simple est celle où l'âme ne trouve rien à distinguer, et ne remarque point de parties différentes entre elles. Telle est, par exemple, l'idée d'une odeur, ou d'une tache d'une couleur unie; telle est aussi l'idée d'une étoile, où nous n'apercevons qu'un point lumineux. Une idée composée est une représentation dans laquelle l'âme peut distinguer plusieurs choses. Quand on regarde, par exemple, attentivement la lune, on y découvre plusieurs taches obscures environnées de contours plus lumineux; on y remarque aussi la figure ronde lorsque la lune est pleine, et des cornes lorsqu'elle est dans le croissant; on y fait attention surtout quand on y regarde par une lunette, par où on y trouve d'autant plus de choses à distinguer. Combien de choses différentes ne remarque-t-on pas en considérant un beau palais ou un beau jardin ! Quand Votre Altesse daignera lire cette lettre, elle y découvrira différents traits des caractères qu'elle distinguera parfaitement les uns d'avec les autres. Cette idée est donc composée, puisqu'elle renferme actuellement plusieurs idées simples. Non-seulement cette lettre tout entière offre une idée composée par la pluralité des mots; mais chaque mot est aussi une idée composée, puisqu'il contient plusieurs lettres : et encore chaque lettre est une idée composée par la singularité de son trait, qui la distingue des autres; mais les éléments ou points qui constituent chaque lettre peuvent être regardés comme des idées simples, en tant qu'on n'y découvre plus aucune variété. Or une plus grande attention découvrira aussi dans ces éléments quelque variété, surtout en les regardant par un microscope.

Il y a donc une grande différence dans la manière même de considérer les objets. Qui ne les regarde que légèrement, ou d'un œil fugitif, y découvre peu de variété; pendant qu'un autre qui les considère avec attention y distingue quantité de choses différentes. Un sauvage, en jetant les yeux sur cette lettre, la prendra pour un papier barbouillé et n'y distinguera que du blanc et du noir, pendant qu'un lecteur attentif y observe les traits de chaque lettre. Voilà donc une nouvelle faculté de l'âme, qu'on nomme l'*attention*,

par laquelle l'âme acquiert des idées simples de toutes les diverses choses qui se trouvent dans un objet.

L'attention demande une adresse acquise par un long exercice pour distinguer les parties différentes d'un objet. Un paysan et un architecte qui passent tous les deux devant un palais éprouvent bien les mêmes impressions des rayons qui en entrent dans leurs yeux ; mais l'architecte y distinguera mille choses dont le paysan ne s'aperçoit point. Ce n'est que dans l'attention qu'il faut chercher la cause de cette différence.

31 janvier 1761.

LETTRE XXXI.

Sur la division des idées en obscures et claires, confuses et distinctes. Sur la distraction.

Si nous ne considérons que légèrement une représentation que les sens offrent, l'idée que nous en acquérons est fort imparfaite, et l'on dit qu'une telle idée est *obscure;* mais plus nous y apportons d'attention pour en distinguer toutes les parties et toutes les marques dont elles est revêtue, plus notre idée deviendra *parfaite* ou *distincte.* Donc, pour acquérir une idée parfaite ou distincte d'un objet, il ne suffit pas qu'il soit bien représenté dans le cerveau par les impressions qui en sont faites sur les sens; il faut de plus que l'âme y apporte son attention, ce qui est une action propre de l'âme et indépendante du corps. Mais il faut aussi que la représentation dans le cerveau soit bien exprimée, et qu'elle renferme les diverses parties et les marques qui caractérisent l'objet; ce qui arrive lorsque l'objet est exposé aux sens d'une manière convenable. Par exemple, quand je vois une écriture à la distance de dix pieds, je ne la saurais lire, quelque attention que j'y fasse : la raison en est que, à cause de l'éloignement, les lettres ne sont pas bien exprimées au fond de l'œil, et par conséquent aussi peu dans le cerveau ; mais dès que cette écriture s'approche à une juste distance, je la lis, parce que toutes les lettres se trouvent alors distinctement représentées au fond de l'œil.

Votre Altesse sait qu'on se sert de certains instruments pour nous procurer une représentation plus parfaite dans les organes des sens; tels sont les microscopes et les télescopes ou lunettes, qui servent à suppléer à la faiblesse de notre vue. Mais, en se servant de tous ces secours, on ne parvient cependant pas à une idée distincte sans attention; on dit qu'on n'y prend pas garde; on

n'acquiert qu'une idée obscure, et il en est à peu près de même que si l'on n'avait pas vu cet objet.

J'ai déjà remarqué que les sensations ne sont pas indifférentes à l'âme, mais qu'elles lui sont ou agréables ou désagréables; et cet agrément excite le plus souvent notre attention, à moins que l'âme ne soit déjà occupée de plusieurs autres sensations auxquelles son attention est fixée : un tel état de l'âme est nommé *distraction.*

L'exercice contribue aussi beaucoup à fortifier l'attention, et il ne saurait y avoir un exercice plus convenable pour les enfants que de leur apprendre à lire; car alors ils sont obligés de fixer leur attention successivement sur chaque lettre, et de s'imprimer une idée bien nette de la figure de chacune. Il est aisé de comprendre que cet exercice doit être très-pénible au commencement; mais bientôt on acquiert une telle habitude qu'on est enfin en état de lire avec une vitesse tout à fait inconcevable. Or, en lisant une écriture, il faut bien qu'on en ait une idée très-distincte : d'où l'on voit que l'attention est susceptible d'un très-haut degré de perfection, par le moyen de l'exercice.

Avec quelle rapidité un habile musicien n'est-il pas capable d'exécuter une pièce écrite en notes, quoiqu'il ne l'ait jamais vue! Il est très-certain que son attention a passé par toutes les notes les unes après les autres, et qu'il a remarqué la valeur et la mesure de chacune. Aussi son attention ne se borne-t-elle pas uniquement à ces notes; elle préside au mouvement des doigts, dont aucun ne se meut sans un ordre exprès de l'âme. Outre cela, il remarque en même temps comment ses compagnons du concert exécutent la même pièce. Enfin, il est surprenant jusqu'où peut être portée l'adresse de l'esprit humain par l'application et l'exercice. Qu'on montre les mêmes notes de musique à quelqu'un qui ne fait que commencer à jouer d'un instrument : combien de temps faudrait-il pour lui imprimer la signification de chaque note et lui en donner une idée complète, pendant que l'habile musicien, presque d'un coup d'œil, en acquiert l'idée la plus complète!

Une semblable habileté s'étend aussi à toutes les autres espèces d'objets, dans lesquels un homme peut l'emporter infiniment sur les autres. Il est des gens qui, d'un seul coup d'œil dont ils regardent une personne qui passe devant eux, acquièrent une idée distincte non-seulement de tous les traits du visage, mais aussi de tout leur habillement, jusqu'aux plus petites bagatelles, pendant que d'autres ne sont pas capables d'en remarquer les circonstances les plus grossières.

A cet égard on remarque une différence infinie parmi les hommes, dont les uns saisissent promptement toutes les marques différentes dans un objet et s'en forment une idée distincte, pendant que d'autres n'en ont qu'une idée très-obscure. Cette différence ne dépend pas uniquement de la pénétration de l'esprit, mais aussi de la nature des objets. Un musicien saisit d'abord toutes les notes d'une pièce de musique, et en acquiert une idée distincte; mais qu'on lui présente une écriture chinoise, il n'aura que des idées fort obscures des caractères avec lesquels elle est écrite; mais un Chinois connaîtra d'abord les véritables traits de chacun, mais il n'entendra rien à son tour des notes de musique. De même un botaniste observera, dans une plante qu'il n'a jamais vue auparavant, mille choses qui échappent à l'attention d'un autre; et un architecte remarque d'un seul coup d'œil, dans un bâtiment, plusieurs choses dont un autre ne s'aperçoit point, quoiqu'il y apporte beaucoup plus d'attention.

C'est toujours un grand avantage de se former des idées distinctes de tous les objets qui se présentent à nos sens, c'est-à-dire d'y remarquer toutes les parties dont ils sont composés, et toutes les marques qui les distinguent et les caractérisent. De là Votre Altesse comprendra facilement la division des idées en obscures et claires, confuses et distinctes. Plus nos idées sont distinctes, plus contribuent-elles à avancer les bornes de nos connaissances.

3 février 1761.

LETTRE XXXII.

Sur l'abstraction et les notions. Des notions générales et des individus. Des genres et des espèces.

Les sens ne nous représentent que des objets qui existent actuellement hors de nous, et les idées sensibles se rapportent toutes à ces objets; mais de ces idées sensibles l'âme se forme quantité d'autres, qui tirent bien leur origine de celles-là, mais qui ne représentent plus des choses qui existent réellement. Par exemple, quand je vois la pleine lune, et que je fixe mon attention uniquement sur son contour, je forme l'idée de la rondeur, mais je ne saurais dire que la rondeur existe par elle-même. La lune est bien ronde, mais la figure ronde n'existe pas séparément hors de la lune. Il en est de même de toutes les autres figures; et quand je

vois une table triangulaire ou carrée, je puis avoir l'idée d'un triangle ou d'un carré, quoiqu'une telle figure n'existe jamais par elle-même, ou séparément d'un objet réel doué de cette figure. Les idées des nombres ont une semblable origine : ayant vu deux ou trois personnes ou d'autres objets, l'âme en forme l'idée de deux ou de trois, qui n'est plus attachée aux personnes. Étant déjà parvenue à l'idée de trois, l'âme peut aller plus loin, et se former des idées de plus grands nombres, de quatre, cinq, dix, cent, mille, etc., sans qu'elle ait jamais vu précisément autant de choses ensemble. Et pour revenir aux figures, Votre Altesse peut bien se former l'idée d'un polygone, par exemple, de 1761 côtés, quoiqu'elle n'ait jamais vu un objet réel qui ait eu une telle figure; et peut-être un objet tel n'a-t-il jamais existé. Un seul cas donc, où l'on a vu deux ou trois objets, peut avoir porté l'âme à se former des idées d'autres nombres, quelque grands qu'ils soient.

C'est ici que l'âme déploie une nouvelle faculté, qu'on nomme l'*abstraction*, qui se fait quand l'âme fixe son attention uniquement sur une quantité ou qualité de l'objet, qu'elle l'en sépare et la considère comme si elle n'était plus attachée à l'objet. Par exemple, quand je touche une pierre chaude et que je fixe mon attention uniquement sur la chaleur, j'en forme l'idée de la chaleur, qui n'est plus attachée à la pierre. Cette idée de la chaleur est formée par l'abstraction, puisqu'elle est séparée de la pierre, et que l'âme aurait pu puiser la même idée en touchant un bois chaud, ou en plongeant la main dans l'eau chaude. C'est ainsi que par le moyen de l'abstraction l'âme se forme mille autres idées de quantités et de propriétés des objets, en les séparant ensuite des objets mêmes ; comme quand je vois un habit rouge et que je fixe mon attention uniquement sur la couleur, je forme l'idée du rouge séparée de l'habit ; et l'on voit qu'une fleur rouge, ou tout autre corps rouge, m'aurait pu conduire à la même idée.

Ces idées acquises par l'abstraction sont nommées *notions*, pour les distinguer des idées sensibles, qui nous représentent des choses réellement existantes.

On prétend que l'abstraction est une prérogative des hommes et des esprits raisonnables, et que les bêtes en sont tout à fait destituées. Une bête, par exemple, éprouve la même sensation de l'eau chaude que nous, mais elle ne saurait séparer l'idée de la chaleur et l'idée de l'eau même : elle ne connaît la chaleur qu'en tant qu'elle se trouve dans l'eau, et elle n'a point l'idée abstraite de la chaleur comme nous. On dit que ces notions sont des idées générales qui s'étendent à plusieurs choses à la fois, comme la chaleur

se peut trouver dans une pierre, dans le bois, dans l'eau, ou dans tout autre corps; mais notre idée sur la chaleur n'est attachée à aucun corps, car si mon idée de la chaleur était attachée à une certaine pierre qui m'a d'abord fourni cette idée, je ne pourrais pas dire qu'un bois ou d'autres corps fussent chauds. De là il est clair que ces notions ou idées générales ne sont pas attachées à certains objets, comme les idées sensibles; et comme ces notions distinguent l'homme des bêtes, elles l'élèvent proprement au degré de raisonnement auquel les bêtes ne sauraient jamais atteindre.

Il y a encore une autre espèce de notions qui se forment aussi par l'abstraction, et qui fournissent à l'âme les plus importants sujets pour y déployer ses forces : ce sont les idées des *genres* et des *espèces*. Quand je vois un poirier, un cerisier, un pommier, un chêne, un sapin, etc., toutes ces idées sont différentes, mais cependant j'y remarque plusieurs choses qui leur sont communes, comme le tronc, les branches et les racines ; je m'arrête uniquement à ces choses que les différentes idées ont de commun, et je nomme un *arbre* l'objet auquel ces qualités conviennent. Ainsi l'idée de l'arbre que je me suis formée de cette façon est une *notion générale*, et comprend les idées sensibles du poirier, du pommier, et en général de tout arbre qui existe actuellement. Or, l'*arbre* qui répond à mon idée générale de l'arbre n'existe nulle part; il n'est pas poirier, car alors les pommiers n'y seraient pas compris ; par la même raison, il n'est pas cerisier, ni prunier, ni chêne, etc. ; en un mot, il n'existe que dans mon âme; il n'est qu'une idée, mais une idée qui se réalise dans une infinité d'objets. Aussi, qnand je dis *cerisier*, c'est déjà une notion générale, qui comprend tous les cerisiers qui existent partout : cette notion n'est pas astreinte à un cerisier qui se trouve dans mon jardin, puisque alors tout cerisier en serait exclu.

Par rapport à de telles notions générales, chaque objet réellement existant qui y est compris est nommé un *individu;* et l'idée générale, par exemple, de cerisier, est nommée une *espèce*, ou un *genre*. Ces deux mots signifient à peu près la même chose; mais le genre est plus général, et renferme en lui plusieurs espèces. Ainsi, la notion d'un arbre peut être regardée comme un genre, puisqu'elle renferme les notions non-seulement des poiriers, des pommiers, des chênes, des sapins, etc., qui sont des espèces, mais aussi l'idée ou la notion de cerisiers doux, d'aigres, et de tant d'autres sortes de cerisiers, qui sont des espèces dont chacune a en elle quantité d'*individus* actuellement existants.

Cette manière de se former des idées générales se fait aussi par abstraction, et c'est là principalement où l'âme déploie son activité

et ses opérations, d'où nous puisons toutes nos connaissances. Sans ces notions générales, nous ne différerions point des bêtes.

7 février 1761.

LETTRE XXXIII.

Sur les langages, leur essence, avantage et nécessité, tant pour se communiquer mutuellement les pensées que pour cultiver nos propres connaissances.

Quelque habile que puisse être un homme pour faire des abstractions et pour se procurer des notions générales, il n'y saurait faire aucun progrès sans le secours des *langages*, qui est double, l'un en *parlant* et l'autre en *écrivant*. L'un et l'autre contiennent plusieurs mots, qui ne sont autre chose que de certains signes qui répondent à nos idées, et dont la signification est établie par la coutume, ou un consentement tacite de plusieurs hommes qui vivent ensemble.

De là il semble que le langage ne sert aux hommes que pour se communiquer mutuellement leurs sentiments, et qu'un homme solitaire pourrait bien se passer de langage; mais Votre Altesse conviendra bientôt qu'un langage est aussi nécessaire aux hommes pour poursuivre et cultiver leurs propres pensées que pour se communiquer avec les autres.

Pour prouver cela, je remarque d'abord que nous n'avons presque point de mots dans les langues dont la signification soit attachée à quelque objet individu. Si chaque cerisier qui se trouve dans une contrée tout entière avait son propre nom, de même que chaque poirier, et en général chaque arbre individu, quel monstre de langage n'en résulterait-il pas ! Si je devais employer un mot particulier pour marquer chaque feuille de papier que j'ai dans mon bureau, ou que je donnasse par caprice à chacune un mot à part, cela me serait aussi peu utile à moi-même qu'aux autres. C'est donc faire une description fort imparfaite des langues que de dire que les hommes ont d'abord imposé à tous les objets individus certains noms, pour leur servir de signes; mais les mots d'une langue signifient des notions générales, et on y en trouvera rarement un qui ne marque qu'un seul être individu. Le nom d'*Alexandre-le-Grand* ne convient qu'à une personne, mais c'est un nom composé. Il y a bien mille Alexandre, et l'épithète de *grand* s'étend à une infinité de choses. C'est ainsi que tous les hommes portent des noms pour les distinguer de tous les autres, quoique

ces noms soient très-souvent communs à plusieurs. Mais si je voulais imposer à chaque être individu dans ma chambre un nom particulier, et que même chaque mouche eût son propre nom, cela n'aboutirait à rien, et serait encore infiniment éloigné du langage.

L'essentiel d'une langue est plutôt qu'elle contienne des mots pour marquer des notions générales, comme le nom d'arbre répond à une prodigieuse multitude d'êtres individus. Ces mots servent non-seulement à exciter chez d'autres, qui entendent la même langue, la même idée que j'attache à ces mots; mais ils me sont d'un grand secours pour me représenter à moi-même cette idée. Sans le mot d'arbre pour me représenter la notion générale d'un arbre, je devrais m'imaginer à la fois un cerisier, un poirier, un pommier, un sapin, etc., et en tirer, par abstraction, ce qu'ils ont de commun; ce qui fatiguerait beaucoup l'esprit, et conduirait aisément à la plus grande confusion. Mais dès que je me suis une fois déterminé à exprimer par le nom d'arbre la notion générale formée par abstraction, ce nom excite toujours dans mon âme la même notion, sans que j'aie besoin de me souvenir de son origine; aussi, pour la plupart, le seul mot d'*arbre* constitue l'objet de l'âme, sans qu'elle se représente quelque arbre réel. De même le nom d'*homme* est un signe pour marquer la notion générale de ce que tous les hommes ont de commun entre eux, et il serait très-difficile de dire ou de faire le dénombrement de tout ce que cette notion renferme. Voudrait-on dire que c'est un être vivant à deux pieds, un coq y serait aussi compris; voudrait-on dire que c'est un être vivant à deux pieds et sans plumes, comme le grand Platon l'a défini, on n'aurait qu'à dépouiller un coq de toutes ses plumes pour avoir un homme platonicien. Je ne sais pas si ceux-là ont plus de raison, qui disent qu'un homme est un être vivant doué de raison ; combien de fois ne prenons-nous pas pour des hommes, des êtres, sans que nous soyons assurés de leur raison! A la vue d'une armée, je ne doute pas que tous les soldats ne soient des hommes, quoique je n'aie pas la moindre preuve de leur raison. Voudrais-je faire un dénombrement de tous les membres nécessaires pour constituer un homme, on trouverait toujours quelques hommes auxquels un ou peut-être plusieurs de ces membres manqueraient, ou bien on trouverait quelque bête qui eût les mêmes membres. Donc, en regardant l'origine de la notion générale d'un homme, il est presque impossible de dire en quoi cette notion consiste; et cependant tout le monde n'a aucun doute sur la signification de ce mot. La raison en est que chacun, en voulant exciter dans son âme cette notion, ne pense qu'au nom d'*hom-*

me, comme s'il le voyait écrit sur le papier ou qu'il en entendît la prononciation selon la langue de chacun. De là on voit que, pour la plupart, les objets de nos pensées ne sont pas tant les choses mêmes que les mots dont ces choses sont marquées dans la langue; et cela contribue beaucoup à faciliter notre adresse à penser. En effet, quelle idée lie-t-on avec de tels mots, *vertu, liberté, bonté*, etc.? Ce n'est pas certainement une image sensible; mais l'âme, s'étant une fois formé les notions abstraites qui répondent à ces mots, substitue ensuite dans ses pensées ces mots au lieu des choses qui en sont marquées. Votre Altesse jugera aisément combien d'abstractions on était obligé de faire pour arriver à la notion de *vertu* : il fallait considérer les actions des hommes, les comparer avec les devoirs qui leur sont imposés; et de là on nomme *vertu* la disposition d'un homme à diriger ses actions conformément à ses devoirs. Mais quand on entend, dans un discours prononcé rapidement, le mot de vertu, est-ce qu'on y joint toujours cette notion compliquée? et à entendre prononcer ces particules *et, aussi*, quelle idée en est excitée dans l'esprit? On voit bien que ces mots signifient une espèce de connexion; mais, quelque peine qu'on se donnât à décrire cette connexion, on se servirait d'autant d'autres mots dont la signification serait aussi difficile à expliquer; et pendant que je voudrais expliquer la signification de la particule *et*, je me servirais plusieurs fois de cette même particule.

Que Votre Altesse juge maintenant de quel avantage est la langue pour diriger nos propres pensées, et que sans une langue nous ne serions presque pas en état de penser nous-mêmes.

10 février 1761.

LETTRE XXXIV.

Sur les perfections d'une langue. Sur les jugements et sur la nature des propositions, qui sont ou affirmatives ou négatives, ou universelles ou particulières.

Votre Altesse vient de voir combien le langage est nécessaire aux hommes, non-seulement pour se communiquer leurs sentiments et leurs pensées, mais aussi pour cultiver leur propre esprit, étendre leurs propres connaissances. Si Adam avait été laissé tout seul dans le paradis, il serait resté dans la plus profonde ignorance sans le secours d'un langage. Le langage lui aurait été nécessaire, non tant pour marquer de certains signes les objets individuels qui

auraient frappé ses sens, mais principalement pour marquer les notions générales qu'il en aurait formées par abstraction, afin que ces signes tinssent lieu dans son esprit de ces notions mêmes.

Ces signes ou mots représentent donc des notions générales, dont chacune est applicable à une infinité d'objets : comme, par exemple, l'idée du chaud et de la chaleur est applicable à tous les objets individuels qui sont chauds ; et l'idée ou la notion générale d'un arbre convient à tous les individus qui se trouvent dans un jardin ou une forêt, soit qu'ils soient cerisiers, ou poiriers, ou chênes, ou sapins, etc.

De là, Votre Altesse comprend comment une langue peut être plus parfaite qu'une autre : une langue est toujours plus parfaite quand elle est en état d'exprimer un plus grand nombre de notions générales formées par abstraction. C'est à l'égard de ces notions qu'il faut juger de la perfection d'une langue. Autrefois on n'avait pas dans la langue russe un mot pour marquer ce que nous nommons *justice :* c'était sans doute un grand défaut, puisque l'idée de la justice est très-importante dans un grand nombre de jugements et de raisonnements, et qu'on ne saurait presque penser la chose même sans un mot qui y soit attaché ; aussi a-t-on suppléé à ce défaut en introduisant un mot russe qui signifie justice.

Or ces notions générales, formées par abstraction, nous fournissent tous nos jugements et nos raisonnements. Un *jugement* n'est autre chose qu'une affirmation ou négation qu'une notion convient ou ne convient pas ; et un jugement énoncé par des mots est ce qu'on nomme une *proposition*. Par exemple, c'est une proposition quand on dit : *Tous les hommes sont mortels ;* ici on a deux notions : la première, des hommes en général ; et l'autre, celle de la mortalité, qui renferme tout ce qui est mortel. Le jugement consiste en ce qu'on prononce et affirme que *la notion de mortalité convient à tous les hommes*. C'est un jugement ; et en tant qu'il est énoncé par des paroles, c'est une proposition ; et puisqu'elle affirme, c'est une proposition *affirmative*. Si elle niait, ce serait une proposition *négative,* comme celle-ci : *Nul homme n'est juste*. Ces deux propositions, qui me servent d'exemples, sont aussi *universelles*, puisque la première affirme de tous les hommes qu'ils sont mortels, et que l'autre nie de tous les hommes qu'ils soient justes.

Il est des propositions *particulières* tant *affirmatives* que *négatives,* comme : *Quelques hommes sont savants*, et *Quelques hommes ne sont pas sages ;* ici ce qu'on affirme et ce que l'on nie ne regarde pas tous les hommes, mais seulement quelques-uns.

De là on tire quatre espèces de propositions. La première est

celle des propositions affirmatives et universelles, dont la forme en général est :

Tout A est B.

La seconde espèce contient les propositions négatives et universelles, dont la forme en général est :

Nul A n'est B.

La troisième espèce est celle des propositions affirmatives, mais particulières, contenue en cette forme :

Quelque A est B.

Et la quatrième enfin est celle des propositions négatives et particulières, dont la forme est :

Quelqne A n'est pas B.

Toutes ces propositions renferment essentiellement deux notions, A et B, qu'on nomme les *termes* de la proposition ; et en particulier la première notion, dont on affirme ou nie quelque chose, est nommée le *sujet ;* et l'autre notion, qu'on dit convenir ou ne pas convenir à la première, est nommée le *prédicat.* Ainsi, dans la proposition *Tous les hommes sont mortels,* le mot l'*homme* ou *les hommes* est le sujet, et le mot *mortels* le prédicat. Ces mots sont fort en usage dans la logique, qui nous enseigne les règles de bien raisonner.

On peut aussi représenter par des figures ces quatre espèces de propositions, pour exprimer visiblement leur nature à la vue. Cela est d'un secours merveilleux pour expliquer très-distinctement en quoi consiste la justesse d'un raisonnement. Comme une notion générale renferme une infinité d'objets individus, on la regarde comme un espace dans lequel tous ces individus sont renfermés : ainsi, pour la notion d'*homme*, on fait un espace (*fig.* 39,) dans lequel on conçoit que tous les hommes sont compris. Pour la notion de *mortel*, on fait aussi un espace (*fig.* 40), où l'on conçoit que tout ce qui est mortel est compris. Ensuite, quand je dis que *tous les hommes sont mortels*, cela revient à ce que la première figure est contenue dans la seconde.

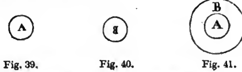


Fig. 39. Fig. 40. Fig. 41.

I. Donc la représentation d'une proposition affirmative universelle sera telle (*fig.* 41), où l'espace A, qui représente le *sujet* de

la proposition, est tout à fait renfermé dans l'espace B, qui représente le *prédicat*.

II. Pour les propositions négatives universelles, les deux espaces A et B, dont A marque toujours le *sujet* et B le *prédicat*, seront représentés l'un séparé de l'autre (*fig.* 42), puisqu'on dit que *nul* A *n'est* B, ou rien de tout ce qui est compris dans la notion A n'est compris dans la notion B.

III. Pour les propositions affirmatives particulières, comme *Quelque* A *est* B, une partie de l'espace A sera comprise dans l'espace B (*fig.* 43), comme on voit visiblement que quelque chose comprise dans la notion A est aussi comprise dans la notion B.

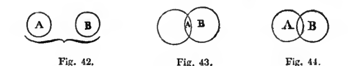


Fig. 42. Fig. 43. Fig. 44.

IV. Pour les propositions négatives particulières, comme *Quelque* A *n'est pas* B, une partie de l'espace A doit se trouver hors de l'espace B, comme on voit *fig.* 44, qui convient bien avec la précédente; mais on remarque ici principalement qu'il y a quelque chose dans la notion A qui n'est pas compris dans la notion B, ou qui se trouve hors de cette notion.

14 février 1761.

LETTRE XXXV.

Des syllogismes, et sur leurs différentes formes, si la première proposition est universelle.

Ces figures rondes, ou plutôt ces espaces (car il n'importe quelle figure nous leur donnons) sont très-propres à faciliter nos réflexions sur cette matière, et à nous découvrir tous les mystères dont on se vante dans la logique et qu'on y démontre avec bien de la peine, pendant que, par le moyen de ces figures, tout saute d'abord aux yeux. On emploie donc des espaces formés à plaisir pour représenter chaque notion générale, et on marque le sujet d'une proposition par un espace contenant A, et le prédicat par un autre espace qui contient B. La nature de la proposition même porte toujours ou que l'espace A se trouve tout entier dans l'espace B, ou qu'il ne s'y trouve qu'en partie, ou qu'une partie au

moins est hors de l'espace B, ou enfin que l'espace A tout entier est hors de B. Je mettrai ici encore une fois devant les yeux de Votre Altesse ces figures ou emblèmes de quatre espèces de propositions.

EMBLÈMES DES QUATRE ESPÈCES DE PROPOSITIONS.

Affirmative universelle:

Tout A est B (*fig.* 41).

Négative universelle :

Nul A n'est B (*fig.* 42).

Affirmative particulière :

Quelque A est B (*fig.* 43).

Négative particulière :

Quelque A n'est pas B (*fig.* 44).

Pour les deux derniers cas, qui représentent des propositions particulières, je remarque qu'ils renferment quelque doute, puisqu'il n'est pas décidé si c'est une grande partie de A qui est contenue ou qui n'est pas contenue en B. Il se pourrait même que la notion A renfermât la notion B tout entière, comme dans la *fig.* 45; car ici il est aussi clair qu'une partie de l'espace A est dans l'espace B, et qu'une partie de A n'est pas en B. Ainsi, si A était l'idée de l'arbre en général, et B l'idée du poirier en général, qui est sans doute entièrement contenue en celle-là, on pourrait former de cette figure les propositions suivantes :

Fig. 45.

I. Tous les poiriers sont des arbres.
II. Quelques arbres sont des poiriers.
III. Quelques arbres ne sont pas poiriers.

De même, si des deux espaces l'un est tout entier hors de l'autre, comme *fig.* 42, je puis dire aussi bien *Nul* A *n'est* B, que *Nul* B *n'est* A; comme si je disais : *Nul homme n'est arbre*, et *Nul arbre n'est homme.*

Le troisième cas, où les deux notions ont une partie commune (*fig.* 43), comme on peut dire :

I. Quelque A est B.
II. Quelque B est A.
III Quelque A n'est pas B.
IV. Quelque B n'est pas A.

Cela peut suffire pour faire voir à Votre Altesse comment toutes

les propositions peuvent être représentées par des figures; mais le plus grand avantage se manifeste dans les raisonnements qui, étant énoncés par des mots, sont nommés *syllogismes*, où il s'agit de tirer une juste conclusion de quelques propositions données. Cette manière nous découvrira d'abord les justes formes de tous les syllogismes.

Commençons par une proposition affirmative universelle :

Tout A est B,

où l'espace A (*fig.* 41) est enfermé tout entier dans l'espace B; et voyons comment une troisième notion C doit être rapportée à l'une ou à l'autre des notions A ou B, afin qu'on en puisse tirer une conclusion. Dans les cas suivants, la chose est évidente.

I. Si la notion C est contenue tout entière dans la notion A, elle sera aussi contenue tout entière dans l'espace B (*fig.* 46); d'où résulte cette forme de syllogisme :

Tout A est B;
Or, tout C est A;
Donc, tout C est B.

Ce qui est la conclusion.

Par exemple, que la notion A renferme *tous les arbres*, la notion B *tout ce qui a des racines*, et la notion C *tous les cerisiers*, et notre syllogisme sera :

Tout arbre a des racines;
Or, tout cerisier est un arbre;
Donc, tout cerisier a des racines.

II. Si la notion C a une partie contenue dans A, la même partie sera aussi contenue dans B, puisque la notion A se trouve renfermée tout entière dans la notion B (*fig.* 47 ou 48). De là résulte la seconde forme de syllogisme :

Tout A est B;
Or, quelque C est A;
Donc, quelque C est B.

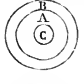


Fig. 46.

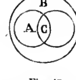


Fig. 47.

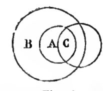


Fig. 48.

Si la notion C était tout entière hors de la notion A, il n'en sui-

vrait rien par rapport à la notion B; il se pourrait que la notion C fût ou tout entière hors de B (*fig.* 49), ou tout entière en B (*fig.* 50), ou en partie en B (*fig.* 51); de sorte qu'on n'en saurait rien conclure.

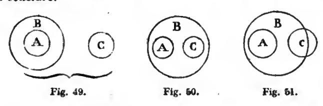


Fig. 49. Fig. 50. Fig. 51.

III. Or, si la notion C était tout entière hors de la notion B, elle serait aussi tout entière hors de la notion A, comme on voit par la *fig.* 49; d'où naît cette forme de syllogisme :

> Tout A est B;
> Or, nul C n'est B ou nul B n'est C;
> Donc, nul C n'est A.

IV. Si la notion C a une partie hors de la notion B, cette même partie sera aussi certainement hors de la notion A, puisque celle-ci est tout entière dans la notion B (*fig.* 52); d'où naît cette forme de syllogisme :

> Tout A est B;
> Or, quelque C n'est pas B;
> Donc, quelque C n'est pas A.

V. Si la notion C renferme en soi toute la notion B, une partie de la notion C tombera certainement en A (*fig.* 53); d'où résulte cette forme de syllogisme :

> Tout A est B;
> Or, tout B est C;
> Donc, quelque C est A.

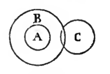



Fig. 52.

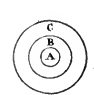


Fig. 53.

Aucune autre forme n'est possible tant que la première proposition est affirmative et universelle.

Supposons maintenant que la première proposition soit négative et universelle, savoir :

Nul A n'est B;

dont l'emblème est cette *fig.* 42, où la notion A se trouve tout entière hors de la notion B, et les cas suivants fourniront des conclusions.

I. Si la notion C est tout entière dans la notion B, elle sera aussi tout entière hors de la notion A (*fig.* 54); d'où l'on a cette forme de syllogisme :

Nul A n'est B;
Or, tout C est B;
Donc, nul C n'est A.

II. Si la notion C est tout entière dans la notion A, elle sera aussi tout entière hors de la notion B (*fig.* 55); ce qui donne cette forme de syllogisme :

Nul A n'est B;
Or, tout C est A;
Donc, nul C n'est B.

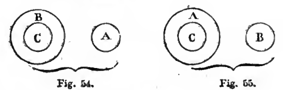


Fig. 54. Fig. 55.

III. Si la notion C a une partie contenue dans la notion A, cette partie se trouvera certainement hors de la notion B, comme (*fig.* 56); ou bien de cette manière (*fig.* 57), ou encore (*fig.* 58); d'où naît ce syllogisme :

Nul A n'est B;
Or, quelque C est A ou quelque A est C;
Donc, quelque C n'est pas B.

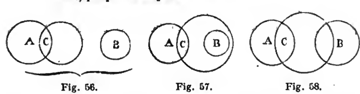
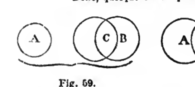


Fig. 56. Fig. 57. Fig. 58.

IV. De même, si la notion C a une partie contenue dans la notion B, cette partie se trouvera certainement hors de la notion A, comme

(*fig.* 59); ou bien de cette manière (*fig.* 60), ou encore (*fig.* 61); d'où l'on a ce syllogisme :

Nul A n'est B;
Or, quelque C est B ou quelque B est C;
Donc, quelque C n'est pas A.



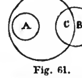


Fig. 59. Fig. 60. Fig. 61.

Pour les autres formes qui restent encore, quand la première proposition est particulière, ou affirmative, ou négative, je les représenterai l'ordinaire prochain.

17 février 1761.

LETTRE XXXVI.

Sur les différentes formes de syllogismes.

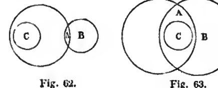
Dans ma lettre précédente, j'ai eu l'honneur de présenter à Votre Altesse plusieurs formes de syllogismes ou raisonnements simples, qui tirent leur origine de la première proposition lorsqu'elle est universelle, affirmative ou négative. Il reste donc à développer encore les syllogismes lorsque la première proposition est supposée particulière, affirmative ou négative, pour avoir toutes les formes possibles de syllogismes qui conduisent à une conclusion sûre.

Soit donc la première proposition affirmative particulière renfermée dans cette forme générale,

Quelque A est B,

où une partie de la notion A est contenue dans la notion B.

Soit maintenant une troisième notion C, qui, étant rapportée à la notion A, ou sera contenue dans la notion A, comme dans les *fig.* 62, 63, 64; ou aura une partie dans la notion A, comme



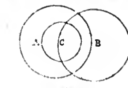


Fig. 62. Fig. 63. Fig. 64.

(*fig.* 65, 66, 67); ou sera tout entière hors de la notion A, comme

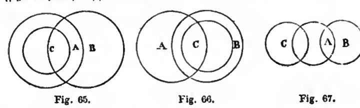


Fig. 65. Fig. 66. Fig. 67.

(*fig.* 68, 69, 70). Dans tous ces cas, on n'en saurait rien conclure

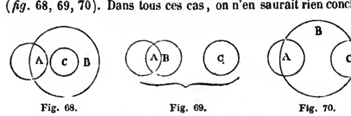
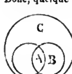


Fig. 68. Fig. 69. Fig. 70.

puisqu'il serait possible que la notion C fût dans la notion B ou tout entière, ou en partie, ou point du tout.

Mais si la notion C renferme en soi la notion A, il est certain qu'elle aura aussi une portion contenue dans la notion B, comme (*fig.* 71 ou 72); d'où résulte cette forme de syllogisme :

Quelque A est B;
Or, tout A est C;
Donc, quelque C est B.



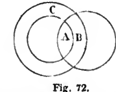


Fig. 71. Fig. 72.

Il en est de même lorsqu'on compare la notion C avec la notion B; on ne saurait tirer aucune conclusion, à moins que la notion C ne contienne en soi la notion B tout entière, comme (*fig.* 73 ou 74);

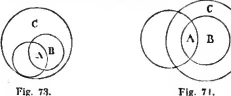


Fig. 73. Fig. 74.

car alors, puisque la notion A a une partie contenue dans la notion B, la même partie se trouvera aussi certainement dans la notion C; d'où l'on obtient cette forme de syllogisme :

Quelque A est B;
Or, tout B est C;
Donc, quelque C est A.

Supposons enfin que la première proposition soit négative et particulière; savoir :

Quelque A n'est pas B,

à laquelle répond la *fig.* 75, où une partie de la notion A se trouve hors de la notion B.

Dans ce cas, si la troisième notion C contient en soi la notion A tout entière, elle aura aussi certainement une partie hors de la notion B, comme (*fig.* 76 ou 77); d'où naît ce syllogisme :

Quelque A n'est pas B;
Or, tout A est C;
Donc, quelque C n'est pas B.

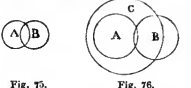


Fig. 75. Fig. 76. Fig. 77.

Ensuite, si la notion C est renfermée tout entière dans la notion B, puisque A a une partie hors de B, cette même partie se trouvera aussi certainement hors de C, comme (*fig.* 78, 79); d'où l'on a cette forme de syllogisme .

Quelque A n'est pas;
Or, tout C est B;
Donc, quelque A n'est pas C.



Fig. 78. Fig. 79

Il sera bon d'assembler toutes ces différentes formes de syllogismes pour les considérer d'un seul coup d'œil.

I. Tout A est B; Or, tout C est A; Donc, tout C est B.	II. Tout A est B; Or, quelque C est A; Donc, quelque C est B.
III. Tout A est B; Or, nul C n'est B; Donc, nul C n'est A.	IV. Tout A est B; Or, nul B n'est C; Donc, nul C n'est A.
V. Tout A est B; Or, quelque C n'est pas B; Donc, quelque C n'est pas A.	VI. Tout A est B; Or, tout B est C; Donc, quelque C est A.
VII. Nul A n'est B; Or, tout C est A; Donc, nul C n'est B.	VIII. Nul A n'est B; Or, tout C est B; Donc, nul C n'est A.
IX. Nul A n'est B; Or, quelque C est A; Donc, quelque C n'est pas B.	X. Nul A n'est B; Or, quelque A est C; Donc, quelque C n'est pas B.
XI. Nul A n'est B; Or, quelque C est B; Donc, quelque C n'est pas A.	XII. Nul A n'est B; Or, quelque B est C; Donc, quelque C n'est pas A.
XIII. Quelque A est B; Or, tout A est C; Donc, quelque C est B.	XIV. Quelque A est B; Or, tout B est C; Donc, quelque C est A.
XV. Quelque A n'est pas B; Or, tout A est C; Donc, quelque C n'est pas B.	XVI. Quelque A n'est pas B; Or, tout C est B; Donc, quelque A n'est pas C.
XVII. Tout A est B; Or, quelque A est C; Donc, quelque C est B.	XVIII. Nul A n'est B; Or, tout A est C; Donc, quelque C n'est pas B.
XIX. Nul A n'est B; Or, tout B est C; Donc, quelque C n'est pas A.	XX. Tout A est B; Or, tout A est C; Donc, quelque C est B.

De ces vingt formes, je remarque que la XVI[e] est la même que la V[e], celle-ci se changeant en celle-là si l'on écrit C pour A et A pour C, et qu'on commence par la seconde proposition; de sorte donc qu'il ne reste que dix-neuf formes différentes.

Le fondement de toutes ces formes se réduit à ces deux principes sur la nature du contenant et du contenu :

I. *Tout ce qui est dans le contenu se trouve aussi dans le contenant.*

II. *Tout ce qui est hors du contenant est aussi hors du contenu.*

Ainsi, dans la dernière forme, où la notion A est contenue tout entière dans la notion B, il est évident que si A est aussi contenu dans la notion C, ou en fait une partie, cette même partie de C sera certainement contenue dans la notion B, de sorte que quelque C est B.

Chaque syllogisme renferme donc trois propositions, dont les deux premières sont nommées les *prémisses,* et la troisième la *conclusion.* Or l'avantage de toutes ces formes, pour diriger nos raisonnements, est que, si les deux prémisses sont vraies, la conclusion est aussi infailliblement vraie.

C'est aussi le seul moyen de découvrir les vérités inconnues : chaque vérité doit toujours être la conclusion d'un syllogisme, dont les prémisses sont indubitablement vraies. Je puis encore ajouter que la première des prémisses est nommée la proposition *majeure*, et l'autre la *mineure.*

21 février 1761.

LETTRE XXXVII.

Analyse de quelques syllogismes.

Si Votre Altesse veut bien donner quelque attention à toutes les formes de syllogismes que j'ai eu l'honneur de mettre devant ses yeux, elle verra que chaque syllogisme renferme nécessairement trois propositions, dont les deux premières sont nommées *prémisses,* et la troisième *conclusion.* Or la force des dix-neuf formes de syllogismes consiste en cette propriété dont chacune est douée, que si les deux premières propositions ou prémisses sont vraies, on peut infailliblement compter sur la vérité de la conclusion.

Considérons, par exemple, ce syllogisme :

Nul homme vertueux n'est médisant;
Or, quelques hommes médisants sont savants;
Donc, quelques savants ne sont pas vertueux.

Dès qu'on m'accorde les deux premières propositions, on est absolument obligé d'avouer la vérité de la troisième, qui en suit nécessairement.

Ce syllogisme appartient à la XIIe forme, et il en est de même de toutes les autres formes que j'ai développées et dont le fondement, représenté par des figures, saute d'abord aux yeux. Ici on

rencontre trois notions (*fig.* 80) : celle des *hommes vertueux*, celle des *hommes médisants*, celle des *hommes savants*.

Que l'espace A représente la première, l'espace B la seconde, et l'espace C la troisième. Maintenant, puisqu'on dit dans la première proposition que *nul homme vertueux n'est médisant*, on soutient que rien de tout ce qui est contenu dans la notion de l'*homme vertueux*, ou dans l'espace A, n'est compris dans la notion de l'*homme médisant*, ou dans l'espace B; donc l'espace A se trouve tout entier hors de l'espace B, en cette sorte (*fig.* 81).

Mais dans la seconde proposition, on dit que quelques hommes compris dans la notion B sont aussi contenus dans la notion des *hommes savants*, ou dans l'espace C; ou bien on dit qu'une partie de l'espace B se trouve dans l'espace C, comme (*fig.* 82), où la

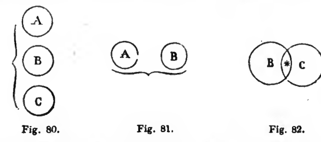


Fig. 80. Fig. 81. Fig. 82.

partie de l'espace B comprise dans C est marquée d'une étoile *, qui sera donc aussi une partie de l'espace C. Donc, puisqu'une partie de l'espace C est en B, et que tout l'espace B se trouve hors de l'espace A, il est évident que la même partie de l'espace C doit aussi être hors de l'espace A, ou bien *quelques savants ne seront pas vertueux*.

Il faut bien remarquer que cette conclusion ne regarde que la partie * de la notion C qui est plongée dans la notion B. Pour le reste, il est incertain s'il est aussi exclu de la notion A, comme dans la *fig.* 83; ou s'il y est renfermé tout entier, comme *fig.* 84; ou seulement en partie, comme dans la *fig.* 85.

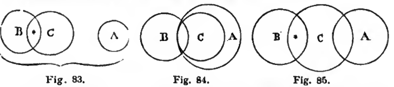


Fig. 83. Fig. 84. Fig. 85.

Or, puisque cela est incertain, le reste de l'espace C n'entre dans aucune considération : la conclusion se borne uniquement à ce qui

est certain, c'est-à-dire que la même partie de l'espace C qui est contenue dans l'espace B se trouve certainement hors de l'espace A, puisque cet espace existe tout entier hors de l'espace B.

De la même manière on peut démontrer la justesse de toutes les autres formes de syllogismes; mais toutes les formes qui diffèrent des dix-neuf rapportées, ou qui n'y sont pas comprises, sont destituées d'un pareil fondement, et mèneraient à l'erreur et à des faussetés si l'on voulait s'en servir.

Votre Altesse reconnaîtra ce défaut très-clairement par un exemple qui n'est compris dans aucune de nos dix-neuf formes :

Quelques savants sont avares;
Or, nul avare n'est vertueux;
Donc, quelques vertueux ne sont pas savants.

Peut-être que cette troisième proposition serait vraie, mais elle ne suit pas des prémisses; donc celles-ci pourraient très-bien être vraies (comme elles le sont aussi sans doute) sans que la troisième le fût : ce qui est contre la nature du syllogisme, où la conclusion doit toujours être vraie dès que les prémisses sont vraies. Aussi le vice de la forme rapportée saute d'abord aux yeux (*fig.* 80).

Que l'espace A renferme *tous les savants*, l'espace B *tous les avares*, et l'espace C *tous les vertueux*. Maintenant la première proposition est représentée par la *fig.* 86, où la partie * de l'espace A (*des savants*) est contenue dans l'espace B (*des avares*).

Ensuite, par la seconde proposition, tout l'espace C (*des vertueux*) est hors de l'espace B (*des avares*) : or, de là il n'en suit nullement qu'une partie de l'espace C se trouve hors de l'espace A (*fig.* 87).

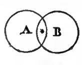


Fig. 86.

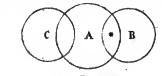


Fig. 87.

Il serait même possible que l'espace C fût tout entier dans l'espace A, comme (*fig.* 88); ou tout entier hors de l'espace A, comme (*fig.* 89), quoiqu'il soit tout entier hors de B.

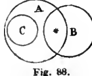


Fig. 88.

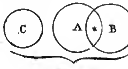


Fig. 89.

Ainsi cette forme de syllogisme serait tout à fait fausse et absurde.

Un autre exemple ne laissera aucun doute là-dessus :

> Quelques arbres sont cerisiers ;
> Or, nul cerisier n'est pommier ;
> Donc, quelques pommiers ne sont pas arbres.

Cette forme est précisément la même que celle ci-dessus; et la fausseté de la conclusion saute aux yeux, quoique les prémisses soient indubitablement vraies.

Mais dès qu'un syllogisme se trouve dans une de nos dix-neuf formes, on peut être assuré que si les deux prémisses sont vraies, la conclusion est toujours indubitablement vraie. D'où Votre Altesse comprend comment de quelques vérités connues on arrive à des vérités nouvelles, et que tous les raisonnements par lesquels on démontre tant de vérités dans la géométrie se laissent réduire à des syllogismes formels. Or il n'est pas nécessaire que nos raisonnements soient toujours proposés en forme de syllogismes, pourvu que le fondement soit le même; dans les discours et en écrivant, on se pique même de déguiser la forme syllogistique.

Je dois encore remarquer que, comme la vérité des prémisses entraîne la vérité de la conclusion, il n'en suit pas nécessairement que, lorsque l'une des prémisses ou toutes les deux sont fausses, la conclusion soit aussi fausse; mais il est certain que quand la conclusion est fausse, il faut absolument que l'une des prémisses ou toutes les deux soient fausses; car si elles étaient vraies, la conclusion serait aussi vraie : donc, si la conclusion est fausse, il est impossible que les prémisses soient vraies. J'aurai l'honneur de faire encore quelques réflexions sur cette matière, puisqu'elle contient la certitude de toutes nos connaissances.

24 février 1761.

LETTRE XXXVIII.

Des différentes figures et des modes des syllogismes.

Les réflexions que j'ai encore à faire sur les syllogismes se réduisent aux articles suivants :

I. Un syllogisme ne renferme que trois notions qu'on nomme *termes*, en tant qu'elles sont représentées par des mots. Car, quoiqu'un syllogisme contienne trois propositions et chaque proposition

des notions ou termes, il faut considérer que chaque terme y est employé deux fois, comme dans cet exemple :

> Tout A est B;
> Or, tout A est C;
> Donc, quelque C est B.

Les trois notions sont marquées par les lettres A, B, C, qui sont les trois termes de ce syllogisme, dont le terme A entre dans les première et seconde propositions, le terme B dans les première et troisième, et le terme C dans les seconde et troisième propositions.

II. Il faut bien distinguer ces trois termes de chaque syllogisme. Deux, savoir, B et C, entrent dans la conclusion, dont l'un C est le *sujet*, et l'autre B le *prédicat*. Dans la logique, le sujet de la conclusion C est nommé le *terme mineur*, et le prédicat de la conclusion B le *terme majeur*. Or la troisième notion ou le terme A se trouve dans les deux prémisses, où il est combiné avec l'un et l'autre terme de la conclusion. Ce terme A est nommé le *moyen terme*. Ainsi dans cet exemple :

> Nul avare n'est vertueux;
> Or, quelques savants sont avares;
> Donc, quelques savants ne sont pas vertueux.

la notion *savants* est le terme mineur, celle des *vertueux* le terme majeur, et la notion d'*avares* le moyen terme,

III. Pour l'ordre des propositions, il serait bien indifférent laquelle des deux prémisses fût mise en premier ou en second lieu, pourvu que la conclusion occupe le dernier lieu, puisqu'elle est la conséquence des prémisses. Cependant les logiciens ont trouvé bon d'établir cette règle :

La première proposition est toujours celle qui contient le prédicat de la conclusion ou le terme majeur; d'où cette proposition a le nom de proposition majeure.

La seconde proposition contient le terme mineur ou le sujet de la conclusion : et de là elle est nommée la proposition mineure.

Donc la *proposition majeure* d'un syllogisme contient le moyen terme avec le terme majeur, ou le prédicat de la conclusion; et la *proposition mineure* contient le moyen terme avec le terme mineur, ou le sujet de la conclusion.

IV. Selon que le moyen terme tient lieu du sujet ou du prédicat dans les prémisses, on constitue différentes *figures* dans les syllogismes; et de là les logiciens ont établi ces quatre figures de syllogismes :

La *première figure* est où le moyen terme est dans la proposition majeure le sujet, et dans la mineure le prédicat.

La *deuxième figure* est où le moyen terme est, tant dans la proposition majeure que dans la mineure, le prédicat.

La *troisième figure* est où le moyen terme est le sujet, tant dans la proposition majeure que dans la mineure. Enfin,

La *quatrième figure* est où le moyen terme est le prédicat dans la proposition majeure, et le sujet dans la mineure.

Soit P le terme mineur ou le sujet de la conclusion, Q le terme majeur ou le prédicat de la conclusion, et M le terme moyen, et les quatre figures des syllogismes seront représentées de la manière suivante :

PREMIÈRE FIGURE.

Proposition majeure	M	Q
Proposition mineure	P	M
Conclusion	P	Q

DEUXIÈME FIGURE.

Proposition majeure	Q	M
Proposition mineure	P	M
Conclusion	P	Q

TROISIÈME FIGURE.

Proposition majeure	M	Q
Proposition mineure	M	P
Conclusion	P	Q

QUATRIÈME FIGURE.

Proposition majeure	Q	M
Proposition mineure	M	P
Conclusion	P	Q

V. Ensuite, selon que les propositions mêmes sont universelles ou particulières, affirmatives ou négatives, chaque figure contient plusieurs formes qu'on nomme *modes*. Pour mieux représenter ces modes de chaque figure, on marque par la lettre A les propositions universelles affirmatives ; par la lettre E, les propositions universelles négatives ; par la lettre I, les propositions particulières affirmatives ; et enfin par la lettre O les propositions particulières négatives [1] : ou bien

A représente une proposition universelle affirmative.
E représente une proposition universelle négative.
I représente une proposition particulière affirmative.
O représente une proposition particulière négative.

(1) *Asserit* A, *negat* E, *verum generaliter ambo ;*
Asserit I, *negat* O, *sed particulariter ambo.*

VI. De là nos dix-neuf formes de syllogismes rapportées ci-dessus se réduisent à ces quatre figures que je viens d'établir; en sorte :

I. MODES DE LA PREMIÈRE FIGURE.

1er MODE.	2e MODE.
A. A. A. Tout M est Q; Or, tout P est M; Donc, tout P est Q.	A. I. I. Tout M est Q; Or, quelque P est M; Donc, quelque P est Q.
3e MODE.	**4e MODE.**
E. A. E. Nul M n'est Q; Or, tout P est M; Donc, nul P n'est Q.	E. I. O. Nul M n'est Q; Or, quelque P est M; Donc, quelque P n'est pas Q.

II. MODES DE LA DEUXIÈME FIGURE.

1er MODE.	2e MODE.
A. E. E. Tout Q est M; Or, nul P n'est M; Donc, nul P n'est Q.	A. O. O. Tout Q est M; Or, quelque P n'est pas M; Donc, quelque P n'est pas Q.
3e MODE.	**4e MODE.**
E. A. E. Nul Q n'est M; Or, tout P est M; Donc, nul P n'est Q.	E. I. O. Nul Q n'est M; Or, quelque P est M; Donc, quelque P n'est pas Q.

III. MODES DE LA TROISIÈME FIGURE.

1er MODE.	2e MODE.
A. A. I. Tout M est Q; Or, tout M est P; Donc, quelque P est Q.	I. A. I. Quelque M est Q; Or, tout M est P; Donc, quelque P est Q.
3e MODE.	**4e MODE.**
A. I. I. Tout M est Q; Or, quelque M est P; Donc, quelque P est Q.	E. A. O. Nul M n'est Q; Or, tout M est P; Donc, quelque P n'est pas Q.
5e MODE.	**6e MODE.**
E. I. O. Nul M n'est Q; Or, quelque M est P; Donc, quelque P n'est pas Q.	O. A. O. Quelque M n'est pas Q; Or, tout M est P; Donc, quelque P n'est pas Q.

IV. MODES DE LA QUATRIÈME FIGURE.

1er MODE. A. A. I. Tout Q est M; Or, tout M est P; Donc, quelque P est Q.	2e MODE. I. A. I. Quelque Q est M; Or, tout M est P; Donc, quelque P est Q.
3e MODE. A. E. E. Tout Q est M; Or, nul M n'est P; Donc, nul P n'est Q.	4e MODE. E. A. O. Nul Q n'est M; Or, tout M est P; Donc, quelque P n'est pas Q.
5e MODE. E. I. O. Nul Q n'est M; Or, quelque M. est P; Donc, quelque P n'est pas Q.	

De là Votre Altesse voit que la première figure a quatre modes, la deuxième aussi quatre, la troisième six, et la quatrième cinq : de sorte que le nombre de tous ces modes ensemble soit *dix-neuf*, qui sont les mêmes formes que j'ai développées ci-dessus, et que je viens a présent de distribuer dans les quatre figures. Au reste, la justesse de chacun de ces modes est déjà démontrée ci-dessus par le moyen des espaces que j'ai employés pour marquer les notions. Toute la différence consiste en ce que je me sers ici des lettres P, Q, M, au lieu des lettres A, B, C.

28 février 1761.

LETTRE XXXIX.

Observations et réflexions sur les différents modes de syllogismes.

Je crois que les réflexions suivantes ne contribueront pas peu à mettre dans un plus grand jour la nature des syllogismes. Que Votre Altesse veuille bien considérer l'espèce des propositions qui composent les syllogismes de chacune de nos quatre figures, savoir, si elles sont :

1° Affirmatives universelles, dont le signe est A; ou
2° Négatives universelles, dont le signe est E; ou
3° Affirmatives particulières, dont le signe est I; ou enfin

4° Négatives particulières, dont le signe est O; et elle conviendra aisément de la justesse des réflexions suivantes :

I. Les deux prémisses ne sont nulle part négatives toutes les deux; d'où les logiciens ont formé cette règle :

De deux propositions négatives on ne saurait tirer aucune conclusion.

La raison en est évidente : car posant P et Q pour les termes de la conclusion et M pour le moyen terme, si les deux prémisses sont négatives on dit que les notions P et Q sont, ou tout entières, ou en partie, hors de M; or, de là on ne saurait rien conclure sur la convenance ou la disconvenance des notions P et Q. Par exemple, quoique je sache par l'histoire que les Gaulois n'étaient pas des Romains, et que les Celtes n'étaient pas des Romains non plus, cela ne me fournit aucun éclaircissement si les Gaulois ont été Celtes ou non. Ainsi deux prémisses négatives ne conduisent à aucune conclusion.

II. Les deux prémisses ne sont aussi nulle part particulières toutes les deux; et de là la logique nous prescrit cette règle :

De deux propositions particulières on ne saurait tirer aucune conclusion.

Ainsi, par exemple, de ce que quelques savants sont pauvres et que quelques savants sont médisants, on ne saurait conclure, ni que les pauvres sont médisants, ni qu'ils ne le sont point. Pour peu qu'on réfléchisse sur la nature d'une conséquence, on s'apercevra bientôt que deux prémisses particulières ne conduisent à aucune conclusion.

III. *Si l'une des prémisses est négative, la conclusion doit aussi être négative.*

C'est la troisième règle qu'on trouve dans la logique. Dès qu'on a nié quelque chose dans les prémisses, on ne saurait rien affirmer dans la conclusion; il y faut nier aussi absolument. Cette règle se trouve ouvertement confirmée par toutes les règles des syllogismes, dont j'ai démontré ci-dessus la justesse.

IV. *Si l'une des prémisses est particulière, la conclusion doit aussi être particulière.*

C'est la quatrième règle que prescrit la logique. Le caractère des propositions particulières étant le mot *quelques-uns :* dès qu'on parle seulement de quelques-uns dans l'une des prémisses, on ne saurait parler généralement dans la conclusion; elle doit être restreinte à quelques-uns. Cette règle se trouve aussi confirmée par toutes les formes des syllogismes, dont la justesse est hors de doute.

V. *Quand toutes les deux prémisses sont affirmatives, la conclusion est aussi affirmative. Mais quoique les deux prémisses soient universelles, la conclusion n'est pas toujours universelle; elle n'est quelquefois que particulière,* comme dans le premier mode des troisième et quatrième figures.

VI. Outre les propositions universelles et particulières, on fait quelquefois usage des propositions *singulières*, où le sujet est un être individu; comme quand je dis :

Virgile était un grand poëte.

Ici le nom de *Virgile* n'est pas une notion générale qui renferme en soi plusieurs êtres; c'est le propre nom d'un homme individu ou actuel, qui a vécu autrefois. Une telle proposition est nommée *singulière;* et quand elle entre dans un syllogisme, il est important de savoir si elle doit être regardée sur le pied des propositions universelles ou particulières.

VII. Quelques auteurs ont prétendu qu'une proposition singulière doit être rangée dans la classe des particulières, attendu qu'une proposition particulière ne parle que de quelques êtres compris dans la notion, pendant qu'une proposition universelle parle de tout. Or, disent ces auteurs, quand on ne parle que d'un être singulier, c'est encore moins que si l'on parlait de quelques-uns; et par conséquent une proposition singulière doit être regardée comme très-particulière.

VIII. Quelque fondée que puisse paraître cette raison, elle ne saurait être admise. L'essentiel d'une proposition particulière consiste en ce qu'elle ne parle pas de tous les êtres compris dans la notion du sujet; pendant qu'une proposition universelle parle de tous sans exception. Ainsi, quand on dit :

Quelques habitants de Berlin sont riches,

le sujet de cette proposition est la notion de *tous les habitants de Berlin;* mais on ne prend pas ce sujet dans toute son étendue, sa signification est expressément restreinte à *quelques-uns*. Et c'est par là que les propositions particulières sont essentiellement distinguées des universelles, puisqu'elles ne roulent que sur une partie des êtres compris dans son sujet.

IX. Après cette remarque, il est très-évident qu'*une proposition singulière doit être regardée comme universelle :* puisqu'en parlant d'un être individu, comme de *Virgile*, elle ne restreint en aucune manière la notion du sujet, qui est Virgile même; mais elle admet

plutôt cette notion dans toute son étendue. Et c'est pourquoi *les mêmes règles qui ont lieu dans les propositions universelles valent aussi pour les propositions singulières.*

Ainsi ce syllogisme est très-bon :

Voltaire est philosophe;
Or, Voltaire est poète;
Donc, quelque poète est philosophe.

Et il serait vicieux si les deux prémisses étaient particulières; mais puisqu'elles peuvent être regardées comme universelles, ce syllogisme appartient à la troisième figure et au premier mode de la forme A, A, I. L'idée individuelle de *Voltaire* y est le moyen terme, qui est le sujet de la majeure et de la mineure; ce qui est le caractère de la troisième figure.

X. Enfin je dois remarquer que je n'ai parlé jusqu'ici que des *propositions simples*, qui ne renferment que deux notions, dont l'une est affirmée ou niée, universellement ou particulièrement. Pour ce qui regarde les *propositions composées*, le raisonnement demande des règles particulières.

3 mars 1761.

LETTRE XL.

Sur les propositions hypothétiques, et sur les syllogismes qui y sont fondés.

Jusqu'ici nous n'avons considéré que des propositions simples qui ne contiennent que deux notions, dont l'une fait le sujet et l'autre le prédicat. De telles propositions ne peuvent former d'autres syllogismes que ceux que j'ai eu l'honneur de représenter à Votre Altesse, et qui sont contenus dans les quatre figures expliquées ci-dessus. Mais on se sert aussi souvent de propositions composées qui renferment plus de deux notions, et où l'on doit observer d'autres règles pour en tirer des conclusions.

De ces propositions composées, les plus communes sont celles qu'on nomme *hypothétiques* ou *conditionnelles*, qui renferment deux propositions entières, en prononçant que, si l'une est vraie, l'autre est aussi vraie. Voici un exemple d'une proposition conditionnelle :

Si les gazettes annoncent la vérité, la paix n'est pas fort éloignée.

Ici il y a deux propositions : la première, *les gazettes annoncent*

la vérité, ou bien *les gazettes sont véritables;* et l'autre, *la paix n'est pas fort éloignée,* ou bien *la paix est fort prochaine.*

Or, on met une telle liaison entre ces deux propositions que, si la première est vraie, l'autre est aussi vraie ; ou bien on soutient que la seconde proposition est une conséquence nécessaire de la première, en sorte que la première ne saurait être vraie sans que la seconde le soit aussi. Supposons donc que les gazettes nous parlent beaucoup d'une paix prochaine, et l'on aurait raison de dire que, *si les gazettes sont véritables, la paix doit être prochaine.*

Outre cette condition, on n'avance rien ; mais en ajoutant encore quelque proposition, il y a deux manières d'en tirer une conclusion. La première aura lieu quand quelqu'un nous assure que *les gazettes sont véritables;* car alors nous en conclurons que *la paix est prochaine.* L'autre manière aura lieu quand on nous assure que *la paix est encore fort éloignée;* alors on ne balancerait pas d'en tirer cette conclusion, que *les gazettes ne disent pas la vérité.*

De là Votre Altesse verra que ces deux manières de conclure auront lieu en général, et qu'elles donneront deux formes de syllogismes hypothétiques on conditionnelles qu'on pourra représenter ainsi :

PREMIÈRE FORME.

Si A est B, alors C est D;
Or, A est B;
Donc, C est D.

SECONDE FORME.

Si A est B, alors C est D;
Or, C n'est pas D;
Donc, A n'est pas B.

Il n'y a que ces deux manières de conclure qui soient justes, et il faut bien prendre garde de ne pas se laisser éblouir par ces deux formes suivantes ;

PREMIÈRE FORME VICIEUSE.

Si A est B, alors C est D;
Or, A n'est pas B;
Donc, C n'est pas D.

SECONDE FORME VICIEUSE.

Si A est B, alors C est D;
Or, C est D;
Donc, A est B,

qui sont tout à fait vicieuses. Dans l'exemple ci-dessus sur les *gazettes* et la *paix*, il serait mal raisonné si je disais :

Si les gazettes sont véritables, la paix est prochaine ;
Or, les gazettes ne sont pas véritables;
Donc, la paix n'est pas prochaine.

Il n'est que trop vrai que *les gazettes ne sont pas véritables*; mais, nonobstant cela, *la paix pourrait bien être prochaine.*

L'autre forme pourrait être également vicieuse :

> Si les gazettes sont véritables, la paix est prochaine.
> Or, la paix est prochaine ;
> Donc, les gazettes sont véritables.

Supposons que cette consolante vérité, que *la paix est prochaine*, nous soit révélée, de sorte qu'on n'en saurait plus douter : cependant il n'en suivrait pas que les *gazettes* fussent *véritables*, ou qu'elles ne mentent jamais. J'espère au moins que la paix est prochaine, quoique je sois fort éloigné de me fier sur la vérité des gazettes.

Ces deux dernières formes de syllogismes conditionnelles sont donc vicieuses ; mais les deux précédentes sont certainement bonnes, et ne conduisent jamais à l'erreur, pourvu que la première proposition conditionnelle soit vraie, ou que la dernière partie soit une conséquence nécessaire de la première partie.

D'une telle proposition conditionnelle :

> Si A est B, alors C est D,

on nomme la première partie (*A est B*) l'*antécédent*, et l'autre partie (*C est D*) le *conséquent*. Là-dessus la logique nous prescrit, pour bien raisonner, ces deux règles :

I. *Qui accorde l'antécédent doit aussi accorder le conséquent.*

II. *Qui nie ou rejette le conséquent doit aussi nier ou rejeter l'antécédent.*

Mais on pourrait bien nier l'antécédent sans nier le conséquent, et aussi accorder le conséquent sans accorder l'antécédent.

Il y a encore d'autres propositions composées dont on peut aussi former des syllogismes, et je crois qu'il suffira d'en rapporter un seul exemple. Ayant cette proposition :

> Toute substance est ou corps ou esprit,

on conclura de ces deux façons :

> I. Or, telle substance n'est pas corps ;
> Donc, elle est esprit.
>
> II. Or, telle substance est corps ;
> Donc, elle n'est pas esprit.

Mais il serait bien superflu de vouloir entretenir Votre Altesse plus long-temps sur cette matière.

7 mars 1761.

LETTRE XLI.

De l'impression des sensations sur l'âme.

Ayant eu l'honneur de présenter à Votre Altesse les principaux fondements de la logique, qui donnent des règles sûres pour bien raisonner, je m'arrêterai encore un peu aux idées.

Les premières idées nous viennent sans doute des objets réels qui frappent nos sens; et tant que nos sens sont frappés de quelque objet, il s'excite dans l'âme une sensation de ce même objet. Ces sens représentent à l'âme non-seulement les idées de cet objet, mais ils lui assurent encore son existence hors de nous. Or il est important de remarquer que la sensation n'est pas indifférente à l'âme, mais qu'elle est toujours accompagnée de quelque plaisir ou de quelque déplaisir plus ou moins grand. Ensuite, ayant acquis une fois par ce moyen l'idée de quelque objet, elle ne se perd pas aussitôt que l'objet cesse d'agir sur nos sens; ce n'est que la sensation dont l'âme est affectée agréablement ou désagréablement qui se perd alors, mais l'idée même de cet objet se conserve dans l'âme. Ce n'est pas que l'idée lui demeure toujours présente, ou que l'âme y pense continuellement; mais elle a le pouvoir de réveiller et de rappeler cette idée aussi souvent qu'elle le veut.

Cette faculté de l'âme de rappeler les idées une fois perçues est nommée la *réminiscence* et l'*imagination*, qui contient la source de la mémoire. Sans cette faculté de se souvenir des idées passées, la première, de sentir, ne nous servirait de rien; si nous perdions à chaque moment le souvenir des idées que nous avons perçues, nous serions toujours dans le cas des enfants nouvellement nés, et dans la plus profonde ignorance. L'imagination est donc le don le plus précieux que le Créateur ait donné à nos âmes; et c'est là que leur spiritualité brille avec le plus grand éclat, puisque par ce moyen les âmes s'élèvent successivement aux plus sublimes connaissances. Mais, quoique les idées rappelées nous représentent les mêmes objets que les idées perçues, elles en diffèrent cependant en ce qu'elles ne sont pas accompagnées de la sensation, ni de la conviction que les objets des idées existent réellement. Quand Votre Altesse a vu une fois un incendie elle peut se rappeler cette même idée quand elle veut, sans pourtant s'imaginer qu'il y en a actuellement un. Il est même possible qu'elle ne pense pas pendant très-long-temps à cet incendie, sans pourtant perdre le pouvoir de

rappeler cette idée. Il en est de même de toutes les idées que nous avons une fois perçues; mais il n'arrive néanmoins que trop souvent que nous en perdons le souvenir presque tout à fait, ou que nous les oublions. On remarque cependant une très-grande différence entre les idées oubliées et les idées tout à fait inconnues, ou que nous n'avons jamais eues : à l'égard des premières, dès que le même objet se présente de nouveau à nos sens, nous en saisissons beaucoup plus facilement l'idée, et nous nous souvenons fort bien que c'est la même que nous avons oubliée; il n'en serait pas ainsi, si nous n'en avions jamais eu l'idée.

C'est ici que les matérialistes se vantent de trouver les plus fortes preuves pour soutenir leur sentiment. Ils disent que de là il est très-clair que l'âme n'est autre chose qu'une matière subtile sur laquelle les objets externes sont capables de faire quelques légères impressions par le moyen des sens; que cette impression n'est autre chose que l'idée des objets, et que, taut qu'elle dure, le souvenir se conserve; mais que nous l'oublions quand cette impression s'efface tout à fait. Si ce raisonnement était fondé, les idées devraient toujours nous demeurer présentes jusqu'à ce que nous les oubliions; ce qui n'arrive pas pourtant, car nous les rappelons quand nous voulons; et si l'impression était effacée, comment la matière pourrait-elle se souvenir qu'elle eut autrefois cette impression, lorsqu'elle la reçoit de nouveau? Ensuite, quoiqu'il soit très-certain que l'action des objets sur les sens produit dans le cerveau quelque changement, ce changement est infiniment différent de l'idée qui en est occasionnée; et tant le sentiment du plaisir et du déplaisir que le jugement sur l'objet même qui a causé cette impression exige ouvertement un être tout à fait différent de la matière et doué de qualités d'une tout autre nature.

Nos connaissances ne se bornent pas aux idées senties, et les mêmes idées rappelées nous en forment, par abstraction, des idées générales, qui renferment à la fois un grand nombre d'idées individuelles : et combien d'idées abstraites ne formons-nous pas sur les qualités et les accidents des objets, auxquelles ne répond absolument rien qui soit corporel, comme les notions de la vertu, de la sagesse, etc.!

Cela ne regarde encore que l'*entendement*, qui ne comprend qu'une partie des facultés de l'âme; l'autre partie n'est pas moins étendue; c'est la *volonté* et la *liberté*, d'où dépendent toutes nos résolutions et nos actions. Dans le corps il n'y a rien qui ait le moindre rapport avec cette qualité par laquelle l'âme se détermine librement à certaines actions, et même après des délibérations

bien mûres; elle a égard à des motifs sans qu'elle en soit forcée; et, en un mot, la liberté est si essentielle à l'âme et à tous les esprits, qu'il serait impossible d'imaginer un esprit sans liberté, pas plus qu'un corps sans étendue. Dieu même ne saurait dépouiller un esprit de cette propriété essentielle.

C'est aussi par là qu'il est facile de résoudre toutes les questions embarrassantes sur l'origine du mal, sur la permission du péché et de tous les maux dont le monde est accablé, et dont la liberté des hommes est la seule source.

10 mars 1761.

LETTRE XLII.

Considérations plus détaillées sur l'origine et la permission du mal et des péchés dans le monde.

L'origine et la permission du mal dans le monde est un article qui a de tout temps fort embarrassé les théologiens et les philosophes. Croire que Dieu, cet être souverainement bon, ait créé ce monde, et y voir fourmiller tant de maux, paraît si contradictoire, que plusieurs d'entre eux ont cru être forcés d'admettre deux principes, l'un souverainement bon et l'autre souverainement méchant: c'était le sentiment des anciens hérétiques connus sous le nom de *Manichéens*, qui, ne voyant d'autre moyen d'expliquer l'origine du mal, furent réduits à cette extrémité. Quoique cette question soit extrêmement compliquée, la seule remarque sur la liberté des hommes, qui est une propriété essentielle des esprits, fait d'abord disparaître une bonne partie de difficultés qui sans cela seraient insurmontables.

En effet, dès que Dieu a créé des hommes, il n'était plus temps d'empêcher le péché, leur liberté n'étant susceptible d'aucune contrainte. Mais, dira-t-on, il aurait mieux valu ne pas créer tels ou tels hommes ou tels esprits, dont Dieu a prévu qu'ils abuseraient de leur liberté et se livreraient au péché. C'est sur quoi je crois qu'il serait téméraire d'entrer en discussion, et de vouloir juger sur le choix que Dieu aurait pu faire en créant les esprits; peut-être que le plan de l'univers demandait l'existence de tous les esprits possibles. En effet, quand nous réfléchissons que non-seulement notre terre, mais aussi toutes les planètes, sont des habitations pour des êtres raisonnables, et que même toutes les étoiles fixes sont des soleils, dont chacun a autour de lui un certain nombre de

planètes aussi habitées, il est clair que le nombre de tous les êtres doués de raison qui ont existé, qui existent et qui existeront dans tout l'univers, doit être infini. C'est donc une hardiesse inexcusable de vouloir prétendre que Dieu n'aurait pas dû accorder l'existence à un grand nombre d'esprits; et ceux mêmes qui font ce reproche à Dieu ne voudraient pas certainement être du nombre de ceux auxquels la création eût été refusée. Cette première objection est donc suffisamment détruite, et il ne répugne pas avec les perfections de Dieu que l'existence ait été accordée à tous les esprits, tant mauvais que bons.

Ensuite on prétend que la méchanceté des esprits, ou êtres raisonnables, aurait pu être réprimée par la toute-puissance divine; sur quoi je remarque que la liberté est si essentielle à tous les esprits, qu'elle ne souffre aucune contrainte : l'unique moyen de gouverner les esprits consiste dans les motifs pour les déterminer au bien et les détourner du mal; mais aussi, à cet égard, ne trouvet-on pas le moindre sujet de se plaindre. Les plus grands motifs ont certainement été proposés à tous les esprits pour les porter au bien, puisque ces motifs sont fondés sur leur propre salut; mais ils ne les contraignent en aucune façon, car cela serait contraire à la nature des esprits, et à tous égards impossible. Quelque méchants que soient les hommes, ils ne s'excuseront jamais par l'ignorance des motifs qui les auraient dû porter au bien : la loi divine, qui tend à leur propre salut, est gravée dans leur cœur, et c'est toujours leur propre faute quand ils se précipitent dans le mal. La religion nous découvre aussi tant d'autres moyens que Dieu emploie pour nous ramener de nos égarements, que de ce côté-là nous pouvons assurer hardiment que Dieu n'a rien omis de ce qui pouvait prévenir l'éclat de la méchanceté des hommes et d'autres êtres raisonnables.

Mais ceux qui s'égarent dans ces doutes sur l'origine et la permission du mal dans ce monde, confondent continuellement le monde corporel avec le monde spirituel; ils s'imaginent que les esprits sont susceptibles d'une semblable contrainte que les corps. Une sévère discipline est souvent capable d'empêcher que parmi les enfants d'une famille, parmi les soldats d'une armée, ou parmi les bourgeois d'une ville, la méchanceté ne parvienne à éclater ouvertement; mais il faut bien remarquer que cette contrainte ne regarde que le corporel, elle n'empêche en aucune manière que les esprits ne soient aussi méchants et aussi vicieux que s'ils jouissaient de toute la licence possible. Le gouvernement mondain se contente bien d'une telle tranquillité extérieure ou apparente, et ne se soucie

pas beaucoup de la vraie disposition des esprits; mais devant Dieu toutes les pensées sont à découvert, et les mauvaises inclinations sont aussi abominables, quoiqu'elles soient cachées devant les hommes, que si elles éclataient dans les plus noires actions. Les hommes se laissent éblouir par de fausses apparences; mais Dieu regarde les vraies dispositions de chaque esprit, en tant qu'elles sont vertueuses ou vicieuses, et cela indépendamment des actions qui en résultent.

L'Écriture sainte contient là-dessus les plus fortes déclarations, en nous apprenant que celui qui médite seulement la perte de son prochain, en se laissant entraîner par la haine, est devant Dieu aussi coupable que celui qui le tue actuellement; et que celui qui se laisse éblouir par le désir des biens d'autrui est, devant Dieu, aussi bien un voleur que celui qui vole en effet.

C'est donc à cet égard que le gouvernement de Dieu sur les esprits ou êtres raisonnables est infiniment différent de celui que les hommes exercent sur leurs pareils; et on se trompe beaucoup quand on s'imagine qu'un gouvernement qui paraît meilleur aux yeux des hommes, le soit réellement au jugement de Dieu. C'est une réflexion que nous ne devons jamais perdre de vue.

14 mars 1761.

LETTRE XLIII.

Sur les maux moraux et physiques.

Quand on se plaint des maux qui règnent dans ce monde, on les distribue en deux classes : les maux moraux et les maux physiques. La classe des maux moraux renferme les inclinations mauvaises ou vicieuses, les dispositions des esprits au mal, ou bien le péché, qui est sans doute le plus grand mal et la plus grande imperfection qui puisse exister.

En effet, à l'égard des esprits, il ne saurait y avoir un plus grand dérèglement que quand ils s'écartent des lois éternelles de la vertu, et qu'ils s'abandonnent au vice. La vertu est le seul moyen de rendre un esprit heureux, et il serait impossible à Dieu de rendre heureux un esprit vicieux. Tout esprit adonné au vice est nécessairement malheureux; et tant qu'il ne retourne pas à la vertu (ce qui pourrait bien être souvent impossible), ses malheurs ne sauraient jamais finir : et voilà l'idée que je me forme des diables, des

esprits méchants et de l'enfer, laquelle me paraît être très-bien d'accord avec ce que la sainte Écriture nous enseigne là-dessus.

Les esprits forts se moquent quand ils entendent parler des diables; mais comme les hommes ne sauraient prétendre d'être les meilleurs de tous les êtres raisonnables, ils ne sauraient se vanter non plus d'être les plus méchants; il y a sans doute des êtres beaucoup plus méchants que les hommes les plus malicieux, et ce sont les diables. Or, j'ai déjà fait voir à Votre Altesse que l'existence de tant d'hommes et d'esprits malins ne nous doit pas être une pierre d'achoppement contre les perfections de ce monde et en particulier contre l'Être suprême. Un esprit, sans en excepter le diable, est toujours un être excellent, et infiniment supérieur à tout ce qu'on peut concevoir dans le monde corporel; et ce monde, en tant qu'il renferme un nombre infini d'esprits de tous les ordres différents, est toujours l'ouvrage le plus parfait. Or, tous les esprits étant essentiellement libres, le péché était possible dès le commencement de leur existence, et ne pouvait pas être empêché, même par la toute-puissance divine. Ensuite les esprits sont les auteurs des maux qui résultent nécessairement du péché, chaque être libre étant toujours l'unique auteur des actions qu'il commet; et par conséquent ces maux ne sauraient être mis au compte du Créateur, pas plus que, parmi les hommes, l'ouvrier qui fait les épées n'est responsable des malheurs qu'elles causent. Ainsi, pour les maux moraux dont ce monde est rempli, la souveraine bonté de Dieu est suffisamment justifiée.

L'autre classe des maux physiques contient toutes les calamités et les misères auxquelles les hommes sont exposés dans ce monde. On convient bien que la plupart est une suite nécessaire de la malice et des penchants vicieux dont les hommes, aussi bien que d'autres esprits, sont infectés; mais puisque ces suites se communiquent par le moyen des corps, on demande pourquoi Dieu a permis que les esprits méchants puissent agir si efficacement sur les corps, et s'en servir comme d'instruments pour exécuter leurs desseins pernicieux? Un père qui verrait son fils sur le point d'assassiner un homme lui arracherait de la main l'épée, et ne permettrait point qu'il se rendît coupable d'un tel forfait. Là-dessus j'ai déjà remarqué que ce fils scélérat est également coupable devant Dieu, soit qu'il exécute son dessein ou qu'il fasse inutilement tous ses efforts pour y réussir; et le père qui l'en retient ne le rend point pour cela meilleur.

Cependant on peut soutenir très-hardiment que Dieu ne permet pas un libre cours à la malice des hommes. S'il n'y avait rien qui

arrêtât l'exécution de tous les pernicieux desseins des hommes, combien serions-nous malheureux! Nous voyons souvent que les méchants rencontrent de grands obstacles; et quoiqu'ils réussissent, ils ne sont pas les maîtres des suites de leurs actions, qui dépendent toujours de tant d'autres circonstances qu'elles tournent enfin d'une façon tout à fait différente. Cependant on ne saurait nier qu'il n'en résulte des calamités et des misères qui tourmentent le genre humain; et l'on s'imagine que le monde serait infiniment mieux gouverné, si Dieu mettait un frein invincible à la méchanceté et à l'audace des hommes.

Il serait sans doute fort aisé à Dieu de faire mourir un tyran avant qu'il opprimât tant d'honnêtes gens, et de rendre muet un juge injuste avant qu'il prononçât une sentence pernicieuse. Alors nous pourrions vivre paisiblement en repos et jouir de tous les agréments de la vie, supposé que Dieu nous accordât une bonne santé et tous les biens que nous souhaiterions; et notre bonheur serait le mieux établi. C'est sur ce pied qu'on voudrait que le monde fût gouverné pour nous rendre tous heureux, les méchants hors d'état d'exercer leur malice, et les bons dans la possession et la paisible jouissance de tous les biens qu'on pourrait souhaiter.

On croit avec raison que Dieu veut sérieusement le bonheur des hommes, et on est surpris que ce monde soit si différent du plan qu'on s'imagine être le plus propre à remplir ce but. Nous voyons plutôt que les méchants jouissent non-seulement bien souvent de tous les avantages de cette vie, mais qu'ils sont aussi en état d'exécuter leurs pernicieux desseins, à la confusion des honnêtes gens; et que les bons sont souvent opprimés et accablés des maux les plus sensibles, de douleurs, de maladies, de chagrins, de pertes considérables de leurs biens, et en général de toutes sortes de calamités; et enfin que tous les bons aussi bien que les méchants, doivent infailliblement mourir, ce qui paraît de tous les maux le plus grand.

En regardant le monde de ce côté, on se trouve fort tenté de douter de la sagesse et de la bonté souveraine du Créateur, et il y a eu de tout temps des fidèles même qui se sont égarés là-dessus : c'est un écueil contre lequel il faut se tenir bien sur ses gardes.

17 mars 1761.

LETTRE XLIV.

Réponse aux plaintes des hommes contre les maux physiques dans ce monde.

Quand même notre existence serait uniquement bornée à la vie présente, il s'en faudrait beaucoup que la possession des biens de ce monde et la jouissance de tous les plaisirs fût le comble de notre bonheur. Tout le monde convient que la vraie félicité consiste dans le repos et le contentement de l'âme, qui ne se trouve presque jamais accompagné du brillant état qui semble heureux à ceux qui ne jugent que par les apparences.

L'insuffisance de ces biens mondains pour nous rendre heureux se manifeste encore davantage quand nous réfléchissons sur notre vraie destination. La mort ne finit pas notre existence, mais nous transmet plutôt dans une autre vie, qui doit durer à jamais. Les facultés de notre âme et nos lumières seront sans doute alors portées à un plus haut degré de perfection, et c'est de l'état où nous nous trouverons alors d'où dépend notre vraie félicité. Or, cet état ne saurait être heureux sans la vertu et les perfections les plus sublimes. Les perfections infinies de l'Être suprême, que nous n'apercevons maintenant qu'à travers des nuages fort épais, brilleront alors avec le plus grand éclat, et seront le principal objet de notre contemplation, de notre admiration et de notre adoration. C'est là que non-seulement notre entendement trouvera les plus parfaites connaissances, mais c'est encore là que nous osons espérer d'entrer en grâce auprès de l'Être suprême, et d'être admis aux plus grandes faveurs de son amour. Combien heureux ne jugeons-nous pas ceux qui se trouvent dans la jouissance des faveurs d'un grand prince, surtout quand ce prince est véritablement grand, quoique ces mêmes faveurs soient accompagnées de quantité d'amertumes! Que sera-ce donc dans la vie future, où le Dieu tout-puissant nous remplira lui-même de son amour, et d'un amour dont les effets ne seront jamais interrompus par aucun revers? Ce sera pour lors un degré de bonheur qui surpassera infiniment tout ce que nous pouvons concevoir.

Or, pour participer à ces faveurs infinies de l'amour de l'Être suprême, il est très-naturel que de notre côté nous soyons de même tout pénétrés du plus vif amour envers lui. Cette union bienheureuse exige absolument de notre part une certaine disposition, sans laquelle nous serions incapables d'y avoir la moindre part; et cette

disposition consiste dans la vertu, dont le fondement est l'amour de Dieu et celui du prochain. C'est donc uniquement à la vertu que nous devons tâcher de parvenir dans cette vie, dans laquelle nous n'existons que pour nous préparer à nous rendre dignes de participer au bonheur souverain et éternel.

De là nous devons juger tout autrement des événements qui nous arrivent dans cette vie. Ce n'est pas la possession des biens de ce monde qui nous rend heureux; c'est plutôt une situation telle qu'elle nous conduise efficacement à la vertu. Si la prospérité était un moyen sûr pour nous rendre vertueux, alors on pourrait se plaindre des adversités; mais ce sont plutôt les adversités qui peuvent nous affermir dans la vertu, et à cet égard toutes les plaintes des hommes sur les maux physiques de cette vie sont aussi détruites.

Votre Altesse comprend donc clairement que Dieu a eu les raisons les plus solides d'introduire dans ce monde tant de calamités et de misères, et que tout aboutit ouvertement à notre salut. Il est bien vrai que ces calamités sont pour la plupart des suites naturelles de la méchanceté et de la corruption des hommes; mais c'est aussi ici que nous devons principalement admirer la sagesse infinie de l'Être suprême, qui sait diriger les actions les plus vicieuses à notre salut. Tant de gens de bien ne seraient pas parvenus à la vertu, s'ils n'avaient pas été opprimés et tourmentés par l'injustice des autres.

J'ai déjà remarqué que les mauvaises actions ne sont mauvaises qu'à l'égard de ceux qui les commettent; il n'y a que la méchante détermination de leur âme qui soit criminelle : l'action même étant une chose purement corporelle, en tant qu'on l'envisage indépendamment de celui qui l'a commise, elle ne renferme rien ni de bien ni de mal. Un maçon en tombant d'un toit sur un homme, le tue aussi bien que l'assassin le plus décidé. L'action est tout à fait la même; mais le pauvre maçon n'en est pas responsable, tandis que l'assassin mérite les peines les plus sévères. Ainsi, quelque criminelles que soient les actions à l'égard de ceux qui les commettent, nous les devons regarder tout autrement, en tant qu'elles nous regardent, ou qu'elles ont quelque influence sur notre situation. Alors nous devons réfléchir que rien ne nous saurait arriver qui ne soit parfaitement d'accord avec la souveraine sagesse de Dieu. Les méchants peuvent bien commettre des injustices, mais nous n'en souffrons jamais; personne ne nous fait jamais tort, quoiqu'il ait bien tort lui-même; et dans tout ce qui nous arrive, nous devons toujours regarder Dieu comme si c'était lui qui commandât immé-

diatement que cela nous arrive. Outre cela, nous pouvons être assurés que ce n'est pas par quelque caprice ou pour nous chagriner, que Dieu dispose ces événements à notre égard, mais qu'ils aboutissent à notre véritable bonheur. Ceux qui regardent sur ce pied tout ce qui leur arrive auront bientôt la satisfaction de se convaincre que Dieu a d'eux un soin tout particulier.

21 mars 1761.

LETTRE XLV.

Sur la vraie destination des hommes, et sur l'utilité et la nécessité des adversités dans ce monde.

J'espère que Votre Altesse n'aura plus de doute sur cette grande question : Comment les maux de ce monde peuvent être conciliés avec la sagesse et la bonté souveraine du Créateur? La solution en est incontestablement fondée sur la vraie destination des hommes et autres êtres intelligents, dont l'existence n'est pas bornée à cette vie. Dès qu'on perd la vue de cette importante vérité, on se trouve enveloppé dans les plus grands embarras ; et si les hommes n'étaient créés que pour cette vie, il n'y aurait pas assurément moyen de sauver les perfections de Dieu contre tous les inconvénients et les malheurs dont ce monde serait alors accablé. Ces malheurs ne seraient que trop réels, et il serait absolument impossible d'expliquer comment la prospérité des méchants et la misère de taut de gens de bien pourraient subsister avec la justice de Dieu.

Mais dès que nous réfléchissons que cette vie n'est que le commencement de notre existence et qu'elle doit nous servir pour nous préparer à une autre vie qui durera éternellement, la face des choses change entièrement, et il faut juger tout autrement des maux dont cette vie nous paraît fourmiller. J'ai déjà remarqué que la prospérité dont nous jouissons dans ce monde n'est rien moins que propre pour nous préparer à la vie future, ou pour nous rendre dignes du bonheur qui nous y attend. Quelque importante que nous paraisse la possession des biens de ce monde pour nous rendre heureux, cette qualité ne leur convient qu'en tant qu'ils portent des marques de la bonté de Dieu : et indépendamment de Dieu, tous ces biens ne sauraient jamais constituer notre bonheur. Nous ne saurions trouver notre vraie félicité qu'en Dieu même; tous les autres plaisirs n'en sont qu'une ombre fort légère, et ne sauraient nous contenter que pour peu de temps. Aussi voyons-nous que

ceux qui en jouissent en abondance en sont bientôt rassasiés; et ce bonheur apparent ne leur sert qu'à enflammer leurs désirs et à dérégler leurs passions, en les éloignant du bien souverain, au lieu de les y approcher. Or, la vraie félicité consiste dans une union parfaite avec Dieu, qui ne saurait avoir lieu à moins que nous n'aimions Dieu sur toutes choses du plus parfait amour et avec la plus parfaite confiance; et il est clair que cet amour demande une certaine disposition de l'âme, à laquelle nous devons nous préparer dans cette vie.

Cette disposition est la vertu, dont le fondement est contenu dans ces deux grands préceptes :

Tu aimeras ton Dieu de tout ton cœur, de toute ton âme et de toutes tes pensées;

et l'autre qui lui est semblable :

Tu aimeras ton prochain comme toi-même.

Toute autre disposition de l'âme qui s'écarte de ces deux préceptes est vicieuse et absolument indigne de participer à la vraie félicité. Aussi peu qu'un homme sourd peut être réjoui par une belle musique, aussi peu est-il possible qu'un homme vicieux jouisse du bonheur souverain dans la vie éternelle. Les vicieux en seront exclus pour jamais : et cela non par un arrêt arbitraire de Dieu, mais par la nature même de la chose, un homme vicieux n'étant pas susceptible, par sa propre nature, du bonheur souverain.

Si nous regardons sur ce pied l'arrangement et l'administration de ce monde, tout ne saurait être mieux disposé pour ce grand but. Tous les événements et même les adversités que nous éprouvons, sont les moyens les plus propres pour nous conduire à notre vrai bonheur : et à cet égard on peut dire que ce monde est effectivement le meilleur, puisque tout y concourt à opérer notre salut. Quand je réfléchis qu'il ne m'arrive rien dans ce monde par hasard, et que tous les événements en sont dirigés par une providence, dans la vue de me rendre heureux, combien cette considération ne doit-elle pas élever mes pensées vers Dieu, et remplir mon âme de l'amour le plus pur!

Mais quelque efficaces que soient ces moyens en eux-mêmes, ils ne contraignent pas nos esprits, auxquels la liberté est si essentielle, qu'aucune contrainte ne saurait avoir lieu. Aussi l'expérience ne nous fait voir que trop souvent que, par notre attachement aux choses sensuelles, nous devenons trop vicieux pour écouter ces motifs salutaires. Par l'abus de tous ces moyens, qui nous de-

vraient conduire à la vertu, on devient de plus en plus vicieux et on se détourne de l'unique chemin qui conduit au bonheur. De là on comprend la vérité des dogmes de notre sainte religion, qui nous enseignent que le péché éloigne les hommes de Dieu, et les rend incapables de parvenir à la vraie félicité.

Comme nous ne sommes que trop convaincus que tous les hommes sont plongés dans le péché, et que les motifs ordinaires que les événements nous fournissent dans ce monde ne seraient pas suffisants pour nous dégager de ces liens, il a fallu employer des moyens extraordinaires pour rompre ces chaînes qui nous attachent au vice; et c'est ce que la miséricorde infinie de Dieu a exécuté en nous envoyant notre divin Sauveur.

C'est un mystère trop élevé pour nos faibles lumières; mais quoique les incrédules y trouvent à redire, l'expérience nous montre ouvertement que c'est un moyen très-propre à ramener les hommes à la vertu. On n'a qu'à jeter les yeux sur les apôtres et sur les premiers chrétiens, pour en être convaincu : leur vie, leur mort, et surtout leurs souffrances, nous découvrent non-seulement la plus sublime vertu, mais aussi l'amour le plus pur envers Dieu. Cela seul suffirait pour nous démontrer la vérité et la divinité de la religion chrétienne. Ce n'est pas assurément l'ouvrage de quelque fourberie ou de quelque illusion, que de nous rendre véritablement heureux.

24 mars 1761.

LETTRE XLVI.

Sur la vraie félicité, et sur la conversion des pécheurs. Réponse aux objections qu'on pourrait faire sur cette matière.

Ma dernière réflexion sur la vie vraiment vertueuse des apôtres et des premiers chrétiens me paraît une preuve invincible de la divinité de la religion chrétienne. En effet, si la vraie félicité consiste dans une union avec l'Être suprême, comme on n'en saurait douter, la jouissance de cette félicité exige nécessairement de notre côté une certaine disposition fondée sur l'amour le plus parfait envers Dieu et la charité la plus parfaite envers notre prochain, de sorte que tous ceux qui n'ont pas cette disposition sont absolument *insusceptibles* du bonheur céleste; ou bien les vicieux en sont nécessairement exclus par leur propre nature, et il ne serait pas possible, même à Dieu, de les rendre heureux. La toute-puissance

de Dieu ne s'étend qu'aux choses qui par leur propre nature sont possibles; et la liberté est si essentielle à tous les esprits, qu'aucune contrainte ne saurait avoir lieu à leur égard.

Ce n'est donc que par des motifs que les esprits peuvent être portés au bien : or, quels motifs plus puissants à la vertu se peut-on imaginer que ceux qui ont été fournis aux apôtres et aux disciples de Jésus-Christ, tant dans la conversation avec leur divin maître, que dans ses miracles, ses souffrances, sa mort et sa résurrection, dont ils ont été témoins? Tous ces événements frappants, joints à la plus pure et à la plus sublime instruction, devaient exciter dans leurs cœurs le plus ardent amour et la plus haute vénération pour Dieu, qu'ils pouvaient regarder et adorer comme leur père, et en même temps comme le souverain absolu de tout l'univers. Ces vives impressions devaient nécessairement étouffer dans leur esprit tout penchant au vice, et les affermir de plus en plus dans la plus sublime vertu.

Cet effet salutaire dans l'esprit des apôtres, regardé en soi-même, n'a rien de miraculeux ou qui ait porté la moindre atteinte à leur liberté, quoique les événements mêmes fussent sans doute les plus miraculeux. Il ne s'agissait que d'un cœur docile et qui ne fût pas corrompu par les vices et les passions. C'est donc sans doute la mission de Jésus-Christ dans ce monde qui a opéré dans les esprits des apôtres cette disposition si nécessaire pour parvenir à la jouissance du bonheur souverain; et cette mission nous fournit encore les mêmes motifs pour arriver à ce but. Il ne faut qu'en lire attentivement et sans préjugé l'histoire, et méditer sur tous les événements.

Je m'arrête à l'effet salutaire de la mission de notre Sauveur, sans vouloir cependant pénétrer dans les mystères de l'ouvrage de notre rédemption, qui surpassent infiniment les faibles lumières de notre esprit. Je remarque seulement que cet effet, dont nous sommes convaincus par l'expérience, ne saurait être l'ouvrage de quelque illusion, ou de quelque fourberie des hommes; il est trop salutaire pour n'être pas divin. Il est aussi parfaitement d'accord avec nos principes incontestables, que les esprits ne sauraient être gouvernés que par des motifs.

Il y a eu des théologiens et il y en a encore, qui soutiennent que notre conversion est immédiatement opérée par Dieu, sans que nous y contribuions la moindre chose. Ils s'imaginent qu'un arrêt de Dieu suffit pour rendre vertueux dans un instant le plus grand scélérat. Ces savants ont bien la meilleure intention, et croient relever par là la toute-puissance de Dieu; mais il me semble que ce sen-

timent serait incompatible avec la justice et la bonté de Dieu, quand même il ne serait pas détruit par la liberté des hommes. Comment, dira-t-on avec raison, si un seul arrêt de la toute-puissance divine suffisait pour convertir tous les pécheurs dans un instant, comment serait-il possible que cet arrêt ne fût pas donné actuellement plutôt que de laisser périr tant de milliers d'hommes, ou d'employer l'ouvrage de la rédemption, par lequel il n'en est sauvé pourtant que la moindre partie? J'avoue que cette objection me paraîtrait beaucoup plus forte que toutes celles que les esprits forts font contre notre religion, et qui toutes ne sont fondées que sur l'ignorance de la vraie destinée des hommes; mais, grâce à Dieu, cette objection ne saurait avoir lieu dans le système que je prends la liberté de proposer à Votre Altesse.

Quelques théologiens m'accuseront peut-être d'hérésie, et diront que je soutiens que la force de l'homme suffit pour sa conversion; mais je ne redoute pas ce reproche, je prétends plutôt mettre la concurrence divine dans son plus grand jour. Dans l'ouvrage de la conversion l'homme use bien de sa liberté, qui ne saurait être contrainte; mais c'est toujours sur des motifs que l'homme se détermine. Or, les motifs lui sont fournis par les circonstances et les conjonctures où il se trouve; et toutes les circonstances dépendent uniquement de la Providence, qui dirige tous les événements dans ce monde conformément aux lois de sa sagesse souveraine. C'est donc toujours Dieu qui fournit aux hommes à chaque instant les circonstances les plus propres d'où ils puissent tirer les motifs les plus forts pour les porter à leur conversion; de sorte que les hommes sont toujours redevables à Dieu des circonstances qui les conduisent à leur salut.

J'ai déjà fait remarquer à Votre Altesse que, quelque méchantes que soient les actions des hommes, ils ne sont pas les maîtres de leurs suites, et que Dieu en créant le monde, a arrangé le cours des événements en sorte que chaque homme soit mis à chaque instant dans les circonstances qui soient pour lui les plus salutaires; et heureux celui qui tâche de les mettre à profit !

Cette conviction doit opérer en nous les effets les plus salutaires : un amour infini envers Dieu, avec une confiance immuable dans sa providence et la plus pure charité envers notre prochain. Cette idée aussi magnifique que consolante de l'Être suprême doit remplir nos cœurs des plus sublimes vertus et nous préparer efficacement à la jouissance de la vie éternelle.

28 mars 1761.

LETTRE XLVII.

Sur le véritable fondement de toutes nos connaissances. Sur les trois sources des vérités, et sur les trois classes de nos connaissances qui en naissent.

MADAME,

Ayant pris la liberté de proposer à Votre Altesse mes pensées sur l'article le plus important de nos connaissances, j'espère qu'elles seront suffisantes pour dissiper tous les doutes dont bien des gens se tourmentent, étant peu instruits sur la vraie notion de notre liberté.

Maintenant, j'aurai l'honneur d'entretenir Votre Altesse sur le véritable fondement de toutes nos connaissances, par lesquelles nous sommes convaincus de la certitude et de la vérité de tout ce que nous connaissons. Il s'en faut beaucoup que nous soyons assurés de la vérité de tous nos sentiments, et il n'arrive que trop souvent qu'on se laisse éblouir par quelques apparences souvent fort légères, et qu'on reconnaisse aussi bien des faussetés. L'un et l'autre est un vice également dangereux; et un homme raisonnable doit faire tous les efforts possibles pour se garantir de l'erreur, quoiqu'on ne soit pas toujours assez heureux pour y réussir.

Tout revient ici à la solidité des preuves par lesquelles nous nous persuadons de la vérité de quelque chose que ce soit, et il est absolument nécessaire qu'on soit en état de juger de la solidité de ces preuves, si elles sont suffisantes pour nous convaincre ou non. Pour cet effet, je remarque d'abord que toutes les vérités qui sont à la portée de notre connaissance se rapportent à trois classes essentiellement distinguées.

La première classe renferme les vérités des sens; la seconde, les vérités de l'entendement; et la troisième, les vérités de la foi. Chacune de ces classes demande des preuves particulières pour nous prouver les vérités qui y appartiennent, et c'est de ces trois classes que toutes nos connaissances tirent leur origine.

Les preuves de la première classe se réduisent à nos sens; quand je puis dire :

> Cette chose est vraie, puisque je l'ai vue, ou que j'en suis convaincu par mes sens.

C'est ainsi que je connais que l'aimant attire le fer, puisque je le vois, et que l'expérience me le prouve indubitablement. Telles

vérités sont nommées *sensuelles*, et fondées sur nos sens ou sur l'expérience.

Les preuves de la seconde classe sont renfermées dans le raisonnement; quand je puis dire :

> Cette chose est vraie, puisque je la puis démontrer par un raisonnement juste, ou par des syllogismes légitimes;

et c'est principalement à cette classe qu'est attachée la logique, qui nous donne des règles pour raisonner juste. C'est ainsi que nous connaissons que les trois angles d'un triangle rectiligne font ensemble autant que deux angles droits. Dans ce cas, je ne dis pas que je le voie, ou que mes sens m'en convainquent; mais c'est le raisonnement qui m'en assure la vérité. De telles vérités sont nommées *intellectuelles;* et c'est ici qu'il faut ranger toutes les vérités de la géométrie et des autres sciences, en tant qu'on est en état de les prouver par des démonstrations. Votre Altesse comprend aisément que ces vérités sont tout à fait différentes de celles de la première classe, où l'on n'allègue d'autres preuves que les sens, ou l'expérience, qui nous assure que la chose est ainsi, quoique nous n'en connaissions pas la cause. Dans l'exemple de l'aimant, nous ne savons pas comment l'attraction du fer est un effet nécessaire de la nature tant de l'aimant que du fer, mais nous ne sommes pas moins convaincus de la vérité du fait. Les vérités de la première classe sont aussi bien vérités que celles de la seconde, quoique les preuves que nous en avons soient entièrement différentes.

Je passe à la troisième classe des vérités, qui sont celles de la foi, et que nous croyons parce que des personnages dignes de foi nous les rapportent; ou bien quand nous pouvons dire :

> Cette chose est vraie, puisqu'une ou plusieurs personnes dignes de foi nous l'ont assurée.

Cette classe renferme donc toutes les vérités *historiques*. Votre Altesse croit sans doute qu'il y a eu autrefois un roi de Macédoine, nommé *Alexandre le Grand*, qui s'est rendu maître du royaume de Perse, quoiqu'elle ne l'ait point vu, et qu'elle ne puisse pas démontrer géométriquement qu'un tel homme ait existé sur la terre. Nous le croyons sur le rapport des auteurs qui ont écrit son histoire, et nous ne doutons pas de leur fidélité. Mais ne serait-il pas possible que tous ces auteurs eussent fait un complot de nous tromper? Nous avons raison de mépriser cette objection, et nous sommes aussi bien convaincus de la vérité de ces faits, au moins d'une grande partie, que nous le sommes des vérités de la première et de la seconde classe.

Les preuves de ces trois classes de vérités sont bien différentes; mais si elles sont bonnes chacune dans son espèce, elles doivent nous convaincre également. Votre Altesse ne doutera pas que les Russes et les Autrichiens n'aient été à Berlin, quoiqu'elle ne les ait pas vus : c'est donc auprès de Votre Altesse une vérité de la troisième classe, puisqu'elle le croit sur le rapport d'autrui; mais pour moi c'était une vérité de la première classe, puisque je les ai vus, que je leur ai parlé et que bien d'autres s'en sont aperçus encore par d'autres sens. Malgré cela, Votre Altesse en est aussi bien persuadée que nous autres.

31 mars 1761.

LETTRE XLVIII.

Sur le même sujet, et en particulier sur les égarements dans la connaissance de la vérité.

Les trois classes de vérités que je viens d'établir sont autant de sources de toutes nos connaissances, et elles sont aussi les seules : tout ce que nous savons, nous le savons ou par notre propre expérience, ou par le raisonnement, ou par le rapport des autres.

Il est difficile de dire laquelle de ces trois sources contribue le plus à augmenter nos connaissances. Pour Adam et Ève, il semble qu'ils n'ont puisé que dans les deux premières; cependant Dieu leur a révélé quantité de choses dont la connaissance doit être rapportée à la troisième source, puisque ni leur propre expérience, ni leur raisonnement, ne les y ont pas conduits. Ensuite le diable s'est aussi mêlé de leur inspirer de nouvelles idées, et Adam s'est fié sur les rapports qu'Ève lui fit.

Mais sans m'arrêter à des temps si reculés, nous sommes suffisamment convaincus que, si nous ne voulions rien croire de tout ce que d'autres nous disent ou que nous lisons dans leurs écrits, nous nous trouverions dans un fort triste état. Cependant il s'en faut beaucoup que nous devions croire tout ce qu'on nous dit, ou tout ce que nous lisons. Partout il faut user du discernement, non-seulement à l'égard de la troisième source, mais aussi à l'égard des deux autres.

Nous sommes si sujets à nous laisser éblouir par les sens et à nous tromper dans les raisonnements, que les mêmes sources que le Créateur nous a ouvertes pour nous conduire à la vérité nous précipitent très-souvent dans l'erreur. Ce n'est donc pas un reproche

qu'on ait raison de faire plutôt à la troisième source qu'aux deux autres. Partout il faut que nous soyons également sur nos gardes, et on trouve autant d'exemples que les hommes se sont égarés en puisant dans la première et la seconde source que dans la troisième. Il en est de même de la certitude des connaissances que ces trois sources nous fournissent, et on ne saurait dire que les vérités de l'une soient plus fondées que celles d'une autre. Chaque source est soumise à des égarements qui pourraient nous séduire; mais il y a aussi des précautions qui, étant bien observées, nous fournissent à peu près le même degré de conviction. Je ne sais si Votre Altesse est plus convaincue de la vérité que deux triangles qui ont la même base et la même hauteur sont égaux entre eux, que de celle-ci, que les Russes ont été à Berlin, quoique la première soit fondée sur le plus juste raisonnement, et que l'autre n'ait d'autres fondements que la fidélité de nos rapports.

Donc, pour les vérités de chacune de ces trois classes, il faut se contenter des preuves qui conviennent à la nature de chacune, et il serait ridicule de vouloir exiger une démonstration géométrique des vérités d'expérience ou historiques. C'est ordinairement le défaut des esprits forts et de ceux qui abusent de leur pénétration dans les vérités intellectuelles, quand ils prétendent des démonstrations géométriques pour prouver toutes les vérités de la religion, qui appartiennent en grande partie à la troisième classe.

Il y a aussi des gens qui ne veulent rien croire ni admettre que ce qu'ils voient de leurs yeux et qu'ils touchent de leurs mains; tout ce qu'on leur prouve par les raisonnements les plus solides leur demeure toujours suspect, à moins qu'on ne le leur mette devant les yeux. On remarque ordinairement ce défaut dans les chimistes, les anatomistes et les physiciens, qui ne s'occupent qu'à faire des expériences. Tout ce que les uns ne sauraient fondre dans leurs creusets, ou les autres disséquer avec leurs scalpels, ne fait aucune impression sur leur esprit. On a beau leur parler des qualités et de la nature de l'âme, ils ne conviennent de rien à moins qu'il ne frappe leur sens.

C'est ainsi que le genre d'étude auquel chacun s'applique a une influence si forte dans sa manière de penser, que l'*expérimenteur* ne veut que des expériences, et le raisonneur que des raisonnements : ce qui forme cependant des preuves tout à fait différentes, les unes attachées à la première classe, et les autres à la seconde, qu'on doit toujours soigneusement distinguer, selon la nature des objets de notre connaissance.

Mais serait-il bien possible qu'il y eût des gens qui, uniquement

occupés des connaissances de la troisième source, ne demandent que des preuves appartenant à cette classe? En effet, j'en ai connu qui, entièrement enfoncés dans l'étude de l'antiquité et de l'histoire, n'admettaient rien qu'on ne leur prouvât par l'histoire ou l'autorité de quelque auteur ancien. Ils tombent bien d'accord sur la vérité des propositions d'Euclide, mais cela uniquement sur l'autorité de cet auteur, sans faire la moindre attention aux démonstrations qu'il en donne : ils s'imaginent même que le contraire de ces propositions pourrait aussi bien être vrai, pourvu que les anciens géomètres se fussent avisés de le soutenir.

Voilà un triple égarement qui arrête bien des gens dans la connaissance de la vérité, mais qu'on rencontre plutôt parmi les savants que parmi ceux qui commencent à s'appliquer aux sciences. Il faut être indifférent pour les trois espèces de preuves que chaque classe exige : et, pourvu qu'elles soient suffisantes, on est obligé de les reconnaître.

Je l'ai vu ou senti, est la preuve de la première classe; *Je puis le démontrer* est la preuve de la seconde classe, de laquelle on dit aussi qu'*on sait les choses;* enfin, *Je le tiens par le témoignage de personnes dignes de foi*, ou *Je le crois par des raisons solides*, c'est la preuve de la troisième classe.

4 avril 1761.

LETTRE XLIX.

Sur la première classe de nos connaissances, et en particulier sur la conviction qu'il existe réellement hors de nous des choses qui répondent aux idées que les sens représentent. Objections des pyrrhoniens contre cette conviction, et réponse à cette objection.

On compte dans la première classe de nos connaissances celles que nous acquérons immédiatement par le moyen de nos sens : or, j'ai déjà remarqué que nos sens fournissent non-seulement à notre âme certaines représentations relatives aux changements opérés dans une partie de notre cerveau, mais qu'ils excitent aussi dans notre âme une conviction qu'il y a actuellement hors de nous des choses réelles qui répondent aux idées que les sens nous présentent.

On compare communément notre âme à un homme renfermé dans une chambre obscure, où les images des objets de dehors sont représentées sur la muraille par le moyen d'un verre propre à cet effet. Cette comparaison est assez juste, en tant que cet homme con-

temple les images sur la muraille; et cet acte est assez semblable à celui de notre âme, quand elle contemple les impressions faites dans le cerveau : mais cette même comparaison me paraît très-défectueuse pour ce qui regarde la conviction qu'il existe réellement de tels objets qui occasionnent ces images.

L'homme renfermé soupçonnera bien l'existence de ces objets; et s'il n'en doute point, c'est qu'il a été dehors, et qu'il a vu ces objets; outre que, connaissant la nature de son verre, il sait que rien ne saurait être représenté sur la muraille, que les images des objets qui se trouvent effectivement hors de la chambre devant le verre. Mais l'âme n'est pas dans ce cas, elle n'a jamais été hors de son siége pour envisager les objets mêmes; et encore moins connaît-elle la construction des organes sensitifs, et les nerfs qui aboutissent dans le cerveau. Cependant, elle est beaucoup plus fortement convaincue de l'existence réelle des objets, que notre homme renfermé ne saurait jamais l'être. Je ne redoute là-dessus aucune objection; la chose étant trop claire d'elle-même, quoique nous n'en connaissions point le véritable fondement. Personne n'en a jamais douté, excepté quelques visionnaires qui se sont égarés dans leurs rêveries. Quoiqu'ils aient dit qu'ils doutaient des choses hors d'eux, ils n'en ont pas douté en effet; car pourquoi l'auraient-ils dit, s'ils n'avaient pas cru l'existence d'autres hommes, auxquels ils voudraient communiquer leur sentiment bizarre?

Cette conviction sur l'existence des choses dont les sens nous représentent les images se trouve non-seulement dans tous les hommes de tout âge et de toute condition, mais aussi dans toutes les bêtes. Le chien qui aboie contre moi ne doute pas de mon existence, quoique son âme n'aperçoive qu'une légère image de mon corps. De là je conclus que cette conviction est essentiellement liée avec nos sensations, et que les vérités que nos sens nous découvrent sont aussi bien fondées que les vérités de la géométrie les plus certaines.

Sans cette conviction, aucune société d'hommes ne saurait subsister; et tous tant que nous sommes, nous nous précipiterions dans les plus grandes absurdités et dans les plus grandes contradictions.

Si les paysans s'avisaient de douter de l'existence de leur bailli, ou les soldats de l'existence de leurs officiers, dans quelle confusion serions-nous plongés! De telles absurdités n'ont lieu que parmi les philosophes; tout autre qui s'y livre doit avoir perdu le bon sens. Reconnaissons donc que cette conviction est une des principales lois de la nature, et que nous en sommes intimement convaincus, quoique nous en ignorions absolument les véritables raisons, et que

nous soyons très-éloignés de les pouvoir expliquer d'une manière intelligible.

Quelque importante que soit cette réflexion, elle n'est cependant pas exempte de toute difficulté; mais quelque grandes aussi que soient ces difficultés, et quand même nous ne les saurions résoudre, elles n'apportent pas la moindre atteinte à la vérité que je viens d'établir, et que nous devons regarder comme le plus solide fondement de nos connaissances.

Il faut convenir que nos sens se trompent quelquefois : et de là, ces subtils philosophes qui se vantent de douter de tout tirent cette conséquence : que nous ne saurions nous fier sur nos sens. Il m'est arrivé plus d'une fois que, rencontrant dans la rue un homme inconnu, je l'ai pris pour quelqu'un que je connaissais : donc, puisque je me suis trompé, rien n'empêche que je ne me trompe toujours; et par conséquent je ne suis jamais assuré que la personne à qui je parle est effectivement celle que je m'imagine.

Si je venais à Magdebourg, et que j'eusse l'honneur d'être mis aux pieds de Votre Altesse, je devrais toujours craindre de me tromper très-grossièrement : peut-être même ne serais-je pas à Magdebourg, car on a des exemples qu'on a pris quelquefois une ville pour une autre. Peut-être même que je n'ai jamais eu le bonheur de voir Votre Altesse, et que je me suis toujours trompé quand j'ai cru être aussi heureux.

Ce sont les conséquences naturelles qui découlent du sentiment de ces philosophes; et Votre Altesse comprend aisément qu'elles mènent non-seulement aux plus grandes absurdités, mais qu'elles renverseraient aussi tous les liens de la société. C'est pourtant de cette source que les esprits forts puisent leurs objections contre la religion, dont la plupart reviennent à ce beau raisonnement : On a des exemples que quelqu'un s'est trompé en prenant un homme pour un autre; donc, les apôtres se sont aussi trompés quand ils disent avoir vu Jésus-Christ après sa résurrection. En toute autre occasion on se moquerait de leur faux esprit; mais quand il s'agit de la religion, ils ne trouvent que trop d'admirateurs.

7 avril 1761.

LETTRE L.

Autre objection des pyrrhoniens contre la certitude des vérités aperçues par les sens. Réponse à cette objection, et sur les précautions qu'on doit observer pour être assuré des vérités des sens.

Quoique l'objection qu'on fait contre la certitude des vérités aperçues par les sens, et dont je viens de parler, paraisse assez forte, on tâche néanmoins de l'appuyer encore sur la maxime commune, qu'il ne faut pas se fier à celui qui nous a trompés une fois. Donc, un seul exemple que les sens ont trompé suffit pour leur refuser toute croyance. Cependant, si cette objection était solide, Votre Altesse ne saurait disconvenir que toute la société des hommes en serait renversée de fond en comble.

Pour y répondre, je remarque que les deux autres sources de nos connaissances sont assujetties à des difficultés, ou semblables, ou plus fortes encore. Combien de fois ne se trompe-t-on pas dans les raisonnements! J'ose bien assurer qu'il arrive beaucoup plus souvent d'être trompé dans les raisonnements que par les sens; mais s'ensuit-il de là que le raisonnement nous trompe toujours, et que nous ne saurions être assurés d'aucune vérité que l'entendement nous découvre? Il doit donc être douteux si deux fois deux font quatre, ou que les trois angles d'un triangle sont égaux à deux droits; il serait même ridicule de vouloir faire passer cela pour une vérité. Ainsi, quoique souvent les hommes aient mal raisonné, cela n'empêche pas qu'il n'y ait quantité de vérités intellectuelles dont nous sommes parfaitement convaincus.

Il en est de même de la troisième source de nos connaissances, qui est sans doute la plus sujette à l'erreur. Combien de fois n'avons-nous pas été trompés par un faux bruit, ou par un faux rapport qu'on nous a fait d'un événement! et qui voudrait bien croire tout ce que les gazetiers ou les historiens ont écrit? Cependant, qui voudrait soutenir que tout ce que d'autres nous disent ou racontent est faux, tomberait sans doute dans de plus grandes absurdités que celui qui croirait tout. Ainsi, malgré tous les faux rapports ou les faux témoignages, nous sommes pourtant assurés de la vérité de quantité de faits que nous ne connaissons que par le rapport d'autrui.

Il y a certains caractères par lesquels nous sommes en état de reconnaître la vérité, et chacune de nos trois sources a des caractères qui lui sont particuliers. Quand la vue m'a trompé, lorsque

j'ai pris un homme pour un autre, j'ai bientôt reconnu mon erreur; d'où il est clair qu'il y a effectivement des moyens propres à prévenir l'erreur. Car s'il n'y en avait point, il serait impossible de s'apercevoir jamais qu'on se soit trompé. Donc, ceux mêmes qui soutiennent que nous nous trompons tant de fois sont obligés d'accorder qu'il est impossible de s'apercevoir que nous nous sommes trompés, ou ils doivent avouer qu'ils se trompent eux-mêmes en nous reprochant nos égarements.

Il est remarquable que la vérité est si bien établie, que la plus grande démangeaison de douter de tout doit y revenir malgré elle. Donc, comme la logique prescrit les règles des raisonnements justes qui nous mettent à l'abri de l'erreur à l'égard des vérités intellectuelles, il y a aussi des règles également certaines, tant pour la première source, de nos sens, que pour la troisième, de la foi.

Les règles de la première source nous sont si naturelles, que tous les hommes, sans en excepter même les plus stupides, les entendent et les pratiquent mieux que les plus savants ne sauraient en donner seulement une description. Quoiqu'il soit aisé d'éblouir quelquefois un paysan, néanmoins, quand la grêle détruit ses champs ou que la foudre tombe dans ses granges, le plus habile philosophe ne lui persuadera jamais que ce n'est qu'une illusion; et tout homme de bon sens doit avouer que le paysan a raison, et qu'il n'est pas toujours la dupe de la tromperie de ses sens. Le philosophe pourra peut-être le confondre au point que le paysan ne sera plus en état de lui répondre; mais au fond il se moquera de tous ses raisonnements. L'argument que les sens nous trompent quelquefois ne fera qu'une très-faible impression sur son esprit; et quand on lui dira, avec la plus grande éloquence, que tout ce que les sens nous représentent n'est pas plus réel que ce que nous rêvons dans le sommeil, tout cela fera rire le paysan.

Mais si le paysan à son tour voulait être philosophe, et soutenir que le bailli n'était qu'un fantôme, et que ceux-là étaient des fous qui le regardaient comme quelque chose de réel et lui obéissaient, on détruirait bientôt cette sublime philosophie, et le chef de la secte ne sentirait que trop la force des preuves que le bailli lui donnerait de la réalité de son existence.

De là Votre Altesse sera bien convaincue que, par rapport aux sens, il y a certains caractères qui ne nous laissent pas le moindre doute sur la réalité et la vérité de ce que nous connaissons par les sens; et ces mêmes caractères sont si bien connus et imprimés dans nos âmes, qu'on ne se trompe jamais lorsqu'on prend les précautions nécessaires. Or, il est très-difficile de faire un dénombrement

exact de tous ces caractères, et d'en expliquer la nature. On dit ordinairement que les organes *sensatoires* doivent se trouver dans un bon état naturel; l'air ne doit pas être obscurci par un brouillard; enfin, qu'il faut apporter un degré suffisant d'attention, et qu'il faut tâcher surtout d'examiner le même objet par deux ou plusieurs de nos sens à la fois. Mais je crois que chacun suit actuellement des règles plus solides que celles qu'on lui pourrait donner.

11 avril 1761.

LETTRE LI.

Sur la certitude démonstrative, physique; en particulier sur la certitude morale.

Il y a donc trois sources d'où nous tirons toutes les connaissances que nous devons regarder comme également certaines, pourvu qu'on prenne les précautions nécessaires qui nous garantissent de l'erreur. De là résultent trois espèces de certitudes.

Celle de la première source est appelée la *certitude physique*. Quand je suis convaincu de la vérité d'une chose parce que je l'ai vue moi-même, j'en ai une certitude physique; et quand on m'en demande la raison, je réponds que mes propres sens m'en assurent, et que j'en suis ou que j'en ai été témoin moi-même. C'est ainsi que je sais que les Autrichiens ont été à Berlin, et que plusieurs d'eux y ont commis quantité de désordres; je sais aussi que le feu détruit toutes les matières combustibles, car je l'ai vu moi-même, et j'en ai une certitude physique.

La certitude des connaissances que nous acquérons par le raisonnement est nommée *certitude logique* ou *démonstrative*, parce que nous sommes convaincus de sa vérité par une démonstration. Les vérités de la géométrie peuvent ici servir d'exemples, et c'est une certitude logique qui nous en assure.

Enfin la certitude que nous avons de la vérité des choses que nous ne savons que par le rapport des autres, est nommée *certitude morale*, parce qu'elle est fondée sur la *foi* que méritent ceux qui les racontent : c'est ainsi que Votre Altesse n'a qu'une certitude morale de ce que les Russes ont été à Berlin; et il en est de même de tous les faits que l'histoire nous apprend. Nous savons, d'une certitude morale, qu'il y a eu autrefois à Rome un Jules-César, un Auguste, un Néron, etc.; et les témoignages sont si authentiques, que nous en

sommes aussi bien convaincus que des vérités que nos propres sens ou notre raisonnement nous font connaître.

Cependant on ne doit pas confondre ces trois espèces de certitudes, la physique, la logique et la morale, dont chacune est d'une nature tout à fait différente. Je me propose d'entretenir Votre Altesse sur chacune de ces trois espèces de certitudes séparément, et je commencerai par m'étendre plus au long sur la certitude morale, qui est la troisième.

Il faut bien remarquer que cette troisième source se partage en deux branches, selon que d'autres nous racontent simplement ce qu'ils ont vu eux-mêmes ou éprouvé eux-mêmes par leurs sens, ou qu'ils nous font part de leurs réflexions ou de leurs raisonnements. On pourrait encore ajouter une troisième branche, quand les autres nous rapportent ce qu'ils ont appris encore d'autres.

Quant à cette dernière branche, on reconnaît généralement qu'elle est très-sujette à l'erreur, et qu'un témoin ne doit être cru que sur ce qu'il a vu ou éprouvé lui-même. Ainsi, dans les tribunaux de justice, quand on examine les témoins, on distingue très-soigneusement dans leurs déclarations ce qu'ils ont vu ou éprouvé eux-mêmes d'avec ce qu'ils y ajoutent ordinairement de leurs réflexions ou raisonnements. On ne se tient qu'à ce qu'ils ont vu ou éprouvé eux-mêmes, et on rejette absolument leurs propres réflexions ou les conséquences qu'ils en tirent, quelque fondées qu'elles puissent être d'ailleurs. On observe la même maxime à l'égard des historiens, et l'on veut qu'ils ne nous annoncent que ce dont ils ont été témoins eux-mêmes; et on ne se soucie guère des réflexions qu'ils y ajoutent, quoiqu'elles soient un grand ornement dans une histoire. C'est ainsi qu'on se fie plutôt sur la vérité de ce que d'autres ont éprouvé par leurs propres sens, que de ce qu'ils ont découvert par leurs méditations. Chacun veut être le maître de son jugement; et à moins qu'il ne reconnaisse lui-même le fondement et la démonstration, il n'est pas persuadé.

Euclide aurait eu beau nous annoncer les plus belles vérités de la géométrie, nous ne les croirions jamais sur sa parole, nous voulons en approfondir les démonstrations nous-mêmes. Si je disais à Votre Altesse que j'ai vu telle ou telle chose, en supposant mon rapport fidèle, elle ne ferait aucune difficulté d'y ajouter foi; je serais même fâché si elle voulait me soupçonner de fausseté. Mais quand j'ai eu l'honneur de dire à Votre Altesse que dans un triangle rectangle les carrés décrits sur les deux petits côtés étaient égaux au carré du grand côté, je ne voulais pas absolument qu'elle me crût sur ma parole, quoique j'en fusse convaincu autant qu'il est pos-

sible qu'on le soit, et que j'eusse pu alléguer l'autorité des plus grands esprits, qui tous en ont été également convaincus. Je prétendais même qu'elle se méfiât de mon assertion, et qu'elle refusât d'y ajouter foi jusqu'à ce qu'elle eût compris elle-même la solidité des raisonnements sur lesquels la démonstration est fondée.

Cependant il ne s'ensuit pas que la certitude physique, ou celle que nos sens nous fournissent, soit plus grande que la certitude logique fondée sur le raisonnement; mais dès qu'une vérité de cette espèce se présente, il est bon que l'esprit s'y occupe et approfondisse la démonstration. C'est le meilleur moyen de cultiver et de porter les sciences au plus haut degré de perfection.

Les vérités des sens et de l'histoire multiplient bien nos connaissances; mais les facultés de l'esprit ne sont mises en action que par la réflexion et le raisonnement.

On ne s'arrête jamais à ce que les sens ou les rapports des autres nous annoncent; on y mêle toujours ses propres réflexions; on y supplée insensiblement en y ajoutant des causes et des motifs, et en tirant des conséquences; et c'est pourquoi dans les tribunaux de justice il est extrêmement difficile de tirer des témoignages purs et nets, qui ne contiennent que ce que les témoins ont vu ou senti actuellement, puisqu'ils y mêlent toujours leurs propres réflexions sans qu'ils s'en aperçoivent eux-mêmes.

14 avril 1761.

LETTRE LII.

Remarques sur ce que les sens contribuent à augmenter nos connaissances, et sur les précautions qu'on doit observer pour être assuré des vérités historiques.

Les connaissances que nos sens nous fournissent sont sans doute les premières que nous acquérons, et c'est sur cela que notre âme fonde ensuite les pensées et les réflexions qui lui découvrent quantité d'autres vérités intellectuelles. Pour mieux comprendre comment les sens contribuent à augmenter nos connaissances, je remarque d'abord que les sens n'agissent que sur des choses individuelles qui existent actuellement sous des circonstances déterminées ou limitées de tous côtés.

Concevons un homme subitement mis dans ce monde, qui n'ait encore aucune expérience; qu'on lui donne une pierre dans la main, qu'il ouvre ensuite la main, et qu'il voie tomber la pierre par terre. C'est une expérience limitée de tous côtés, qui ne lui

apprend rien sinon que cette pierre, étant dans la main gauche, par exemple, et lâchée, tombe en bas; il ne sait absolument pas si le même effet arriverait lorsqu'il prendrait une autre pierre, ou bien la même avec la main droite. Aussi est-il encore incertain si cette même pierre, sous les mêmes circonstances, tomberait encore une fois, ou bien si elle serait tombée quand il l'aurait prise une heure auparavant. Au moins cette seule expérience ne lui donne aucun éclaircissement là-dessus.

Ce même homme prend ensuite une autre pierre, et il voit qu'elle tombe aussi en la lâchant tant de la main gauche que de la main droite; il fait le même essai avec une troisième et une quatrième, et il observe toujours le même effet. De là il conclut que toutes les pierres ont cette propriété, qu'étant lâchées, ou manquant de soutien, elles tombent en bas.

Voilà une connaissance que notre homme tire de l'expérience qu'il a faite. Il s'en faut beaucoup qu'il ait essayé toutes les pierres; et quand même il l'aurait fait, quelle certitude a-t-il que la même chose arriverait en tout temps? Il n'en sait rien que pour les moments où il a fait chaque expérience; et qui lui assure que le même effet réussirait aussi à d'autres hommes? Ne pourrait-il pas penser que cette qualité de faire tomber les pierres serait attachée uniquement à ses mains? On pourrait encore former mille autres doutes là-dessus.

Moi, par exemple, je n'ai jamais éprouvé les pierres dont l'église cathédrale de Magdebourg est construite, et cependant je ne doute pas qu'elles ne soient toutes pesantes sans exception, et que chacune tomberait dès qu'elle serait détachée. Je m'imagine même que l'expérience m'a fourni cette connaissance, quoique je n'en aie jamais fait aucune sur lesdites pierres.

Cet exemple suffit pour faire voir à Votre Altesse comment les expériences, quoiqu'elles ne roulent que sur des objets individuels, ont conduit les hommes à des connaissances très-universelles; mais il faut convenir que l'entendement et les autres facultés de l'âme s'y mêlent d'une manière qu'il est très-difficile de bien développer: et si l'on voulait être trop scrupuleux sur toutes les circonstances, on n'avancerait rien dans toutes nos connaissances, et l'on serait arrêté à chaque pas.

A cet égard, il faut avouer que le commun peuple a beaucoup plus de bon sens que ces philosophes scrupuleux qui s'obstinent à douter de tout. Cependant il faut aussi bien prendre garde de ne pas tomber dans une autre extrémité, et de négliger les précautions nécessaires.

Toutes les trois sources d'où nous tirons nos connaissances exigent chacune certaines précautions qu'on doit bien observer pour être assuré de la vérité; mais dans chacune on peut pousser la chose trop loin, et il faut toujours tenir un certain milieu.

La troisième source ne prouve cela que trop ouvertement. Ce serait sans doute la plus grande folie de croire tout ce que les autres nous racontent; mais, d'un autre côté, une trop grande méfiance ne serait pas moins blâmable. Qui veut douter de tout, ne manquera jamais de prétexte: quand un homme dit ou écrit qu'il a vu telle ou telle action, d'abord on peut dire que cela n'est pas vrai, et que cet homme se plaît à nous surprendre. Ensuite, quand sa fidélité ne serait assujettie à aucun doute, on pourrait dire qu'il n'a pas bien vu, qu'il a été ébloui; et on trouvera toujours des exemples où quelqu'un s'est trompé, et faussement imaginé qu'il voyait quelque chose. Les règles qu'on prescrit à cet égard perdent tout leur poids quand on a affaire à un chicaneur.

Ordinairement, pour qu'on puisse être assuré de la vérité d'une relation ou d'une histoire, on exige que l'auteur ait été lui-même témoin, et qu'il n'ait aucun intérêt à raconter la chose autrement qu'elle ne s'est passée. Ensuite, si deux ou plusieurs rapportent la même chose et avec les mêmes circonstances, c'est toujours un grand argument pour la vérité. Quelquefois pourtant une trop grande harmonie jusqu'aux moindres minuties devient suspecte; car deux personnes qui regardent le même événement le regardent de différents points de vue, et l'une remarquera toujours quelques petites circonstances qui auront échappé à l'attention de l'autre. Donc une petite différence qui se trouve en deux relations du même événement, en prouve plutôt la vérité qu'elle ne l'affaiblit.

Mais il est toujours extrêmement difficile de raisonner sur les premiers principes de nos connaissances, et de vouloir expliquer le mécanisme et les ressorts que notre âme met en usage. Il serait bien beau si l'on pouvait y réussir, et cela nous éclaircirait sur quantité d'articles importants qui regardent la nature de notre âme et ses opérations; mais il semble que nous sommes plutôt destinés à nous servir de nos facultés qu'à en approfondir tous les ressorts.

18 avril 1761.

LETTRE LIII.

Sur la question, si l'essence des corps nous est connue ou non.

Après tant de réflexions sur la nature et les facultés de notre âme, Votre Altesse sera peut-être bien aise de retourner à la considération des corps, dont j'ai déjà eu l'honneur de lui exposer les principales propriétés.

J'ai remarqué que la nature des corps renferme nécessairement trois choses, l'*étendue*, l'*impénétrabilité* et l'*inertie;* de sorte qu'un être où ces trois choses ne se trouveraient pas à la fois ne saurait être admis dans la classe des corps; et réciproquement, dès que ces trois qualités sont réunies dans un être, personne ne doutera de le reconnaître pour un corps.

C'est donc dans ces trois choses qu'on a raison de constituer l'essence d'un corps, quoiqu'il y ait bien des philosophes qui prétendent que l'essence des corps nous soit tout à fait inconnue. Ce n'est pas seulement le sentiment des sceptiques et pyrrhoniens, qui doutent de tout; mais il y a aussi d'autres sectes qui soutiennent que l'essence de toutes les choses nous est absolument inconnue, et, en effet, à certains égards ils n'ont pas tort. Il n'est que trop vrai à l'égard de tous les êtres individuels qui existent actuellement.

Votre Altesse reconnaîtra aisément que ce serait la plus grande absurdité, si je voulais prétendre de connaître seulement l'essence de la plume dont je me sers actuellement pour écrire cette lettre. Si je connaissais l'essence de cette plume précisément (je ne parle pas des plumes en général, mais uniquement de celle que je tiens actuellement entre mes doigts, qui est un *être individuel*, comme on le nomme dans la métaphysique, et qui est distinguée de toutes les autres plumes qui se trouvent dans le monde); si je connaissais donc l'essence de cette plume individuelle, je serais en état de la distinguer de toutes les autres, et il serait impossible de la changer sans que je m'en aperçusse d'abord : je devrais connaître à fond la nature, le nombre et l'arrangement de toutes les parties dont elle est composée. Mais combien s'en faut-il que j'aie une telle connaissance! Pendant que je me lève un moment, mes enfants me pourraient bien changer cette plume en en mettant une autre à sa place, sans que je le remarquasse; et quand même j'y aurais fait une remarque, ne pourraient-ils pas la contrefaire sur une autre plume? et si cela était impossible à mes enfants, il faudrait tou-

jours convenir que Dieu pourrait faire une autre plume si semblable à celle-ci que je ne saurais jamais connaître la différence. Ce serait pourtant une autre plume réellement distinguée de la mienne, et Dieu en connaîtrait sans doute la différence, c'est-à-dire que Dieu connaît parfaitement l'essence de l'une et de l'autre de ces deux plumes : or, moi qui n'y découvre aucune différence, il est certain que l'essence de cette plume individuelle m'est tout à fait inconnue.

Il en est de même de toutes les autres choses individuelles, et on peut hardiment soutenir que ce n'est que Dieu qui connaît l'essence ou la nature de chacune. Votre Altesse ne saurait assigner aucune chose réellement existante dont nous puissions avoir une connaissance si parfaite qu'il fût impossible de nous y tromper jamais; c'est, pour ainsi dire, l'empreinte dont le Créateur a marqué toutes les choses créées, et dont la nature sera toujours un mystère pour nous.

Il est donc très-certain que nous ne connaissons point l'essence des choses individuelles, ou tous les caractères dont chacune est distinguée de toutes les autres; mais il n'en est pas de même des espèces et des genres, qui sont des notions générales qui embrassent à la fois une infinité de choses individuelles. Ce ne sont pas des êtres actuellement existants; ce ne sont que des notions que nous formons nous-mêmes dans nos esprits, en rangeant plusieurs choses individuelles dans la même classe, que nous nommons une *espèce* ou un *genre*, selon que le nombre des choses individuelles qui y sont comprises est plus ou moins grand.

Ainsi, pour m'arrêter à l'exemple de la plume, comme il y a une infinité de choses à chacune desquelles je donne le même nom de plume, quoiqu'elles diffèrent toutes entre elles, la notion de *plume* est une idée générale dont nous sommes nous-mêmes les créateurs, et elle n'existe que dans notre esprit. Cette notion ne renferme que les caractères communs qui constituent l'essence de la notion générale d'une plume; et cette essence nous doit être bien connue, puisque nous sommes en état de distinguer toutes les choses que nous nommons *plumes* de toutes les autres que nous ne comprenons pas sous ce nom.

Dès que nous remarquons dans une chose certains caractères ou certaines qualités, nous disons qu'elle est une plume, et nous sommes en état de la distinguer de toutes les autres choses qui ne sont pas plumes, quoique nous soyons fort éloignés de la distinguer de toutes les autres plumes.

Plus une notion est générale, et moins comprend-elle de carac-

tères qui en constituent l'essence, et par conséquent il est aussi plus aisé de reconnaître cette essence. Nous comprenons plus facilement ce que c'est qu'un arbre en général, qu'un cerisier, ou un poirier, ou un pommier, et quand ce sont des espèces; et quand je dis : Telle chose que je vois dans un jardin est un arbre, je ne me trompe pas; mais je pourrais bien me tromper si je disais que c'est un cerisier. Il faut donc que je connaisse mieux l'essence d'un arbre en général que les espèces; je ne confondrai pas si aisément un arbre avec une pierre qu'un cerisier avec un prunier.

Or, une notion en général s'étend encore infiniment plus loin, et par conséquent son essence ne comprend que les caractères qui sont communs à tous les êtres que nous nommons *corps*. Elle se réduit donc à très-peu de chose, puisqu'il en faut exclure tous les caractères qui distinguent un corps des autres.

Il est donc fort ridicule d'avancer, comme font quelques philosophes, que l'essence des corps en général nous est inconnue. Si cela était, nous ne serions jamais en état de dire avec assurance que telle chose est un corps, ou qu'elle ne l'est pas; et puisque nous ne saurions nous tromper à cet égard, il faut bien que nous connaissions suffisamment la nature ou l'essence des corps en général. Or cette connaissance se réduit à l'étendue, l'impénétrabilité et l'inertie.

21 avril 1761.

LETTRE LIV.

Sur la vraie notion de l'étendue.

J'ai déjà eu l'honneur de prouver à Votre Altesse que la notion générale d'un corps renferme nécessairement ces trois qualités, l'étendue, l'impénétrabilité et l'inertie, sans lesquelles aucun être ne saurait être rangé dans la classe des corps. Les plus scrupuleux même ne sauraient disconvenir de la nécessité de ces trois qualités pour constituer un corps, mais ils doutent si ces trois caractères sont suffisants. Peut-être, disent-ils, y a-t-il encore plusieurs autres caractères qui sont également nécessaires pour l'essence d'un corps.

Mais je leur demande : Si Dieu créait un être dépouillé de ces autres caractères inconnus, et qu'il n'eût que les trois rapportés, *douteraient-ils* de donner le nom de corps à cet être? Non, sans doute; car s'ils avaient le moindre doute là-dessus, ils ne sauraient

dire avec assurance que les pierres que nous rencontrons dans la rue sont des corps, puisqu'ils sont incertains si les prétendus caractères inconnus se trouvent dans ces pierres ou non.

Quelques-uns s'imaginent que la pesanteur est aussi une propriété essentielle de tous les corps, puisque tous les corps que nous connaissons sont pesants; mais si Dieu les dépouillait de la pesanteur, cesseraient-ils pour cela d'être des corps? Ensuite, qu'ils considèrent les corps célestes, qui ne tombent pas en bas, comme il devrait arriver s'ils étaient pesants comme nos corps que nous touchons, et pourtant ils ne doutent pas de les nommer corps. Et quand même tous les corps seraient pesants, il ne s'ensuivrait pas que la pesanteur soit une propriété essentielle des corps, puisqu'un corps resterait corps, quoique sa pesanteur fût détruite par un miracle.

Mais ce même raisonnement n'a pas lieu dans les trois propriétés essentielles que je viens d'alléguer. Si Dieu anéantissait l'étendue d'un corps, il ne serait plus certainement un corps; et un corps dépouillé de l'impénétrabilité ne serait plus nommé corps, ce serait un spectre, un fantôme; et il en est de même de l'inertie.

Votre Altesse sait que l'étendue est l'objet propre de la géométrie, où l'on ne considère les corps qu'en tant qu'ils sont étendus, en faisant abstraction de l'impénétrabilité et de l'inertie; donc l'objet de la géométrie est une notion bien plus générale que celle des corps, puisqu'il renferme non-seulement les corps, mais aussi tous les êtres simplement étendus sans impénétrabilité s'il y en avait. De là il s'ensuit que toutes les propriétés qu'on déduit dans la géométrie de la notion de l'étendue, doivent aussi avoir lieu dans les corps, en tant qu'ils sont étendus; car tout ce qui convient à une notion plus générale, par exemple à celle d'un arbre, doit aussi convenir à la notion d'un cerisier, d'un poirier, d'un pommier, etc.; et ce principe est même le fondement de tous nos raisonnements, en vertu desquels nous affirmons et nions toujours des espèces et des choses individuelles tout ce que nous affirmons et nions du genre.

Cependant il y a des philosophes, et même la plupart d'aujourd'hui, qui nient hautement que les propriétés qui conviennent à l'étendue en général, c'est-à-dire, comme on les considère en géométrie, aient lieu dans les corps réellement existants. Ils disent que l'étendue de la géométrie est un être abstrait, des propriétés duquel on ne saurait rien conclure sur les choses réelles : ainsi, quand j'ai démontré que les trois angles d'un triangle sont ensemble égaux à deux angles droits, c'est une propriété qui ne convient qu'à un triangle abstrait, et point du tout à un triangle réel.

Mais ces philosophes ne s'aperçoivent pas des suites fâcheuses qui découlent naturellement de la différence qu'ils mettent entre les objets formés en abstraction et les objets réels; et s'il n'était pas permis de conclure des premiers aux derniers, aucune conclusion et aucun raisonnement ne sauraient plus subsister, puisque nous concluons toujours des notions générales aux particulières.

Or, toutes les notions générales sont aussi bien des êtres abstraits que l'étendue géométrique; et un arbre en général, ou la notion générale des arbres, n'est formé que par abstraction, et existe aussi peu hors de nos esprits que l'étendue géométrique. La notion de l'homme en général n'existe nulle part; tous les hommes qui existent sont des êtres individuels, et répondent à des notions individuelles; l'idée générale qui les renferme tous n'est formée que par abstraction.

Le reproche que ces philosophes font continuellement aux géomètres, qu'ils ne s'occupent qu'à des choses abstraites, est donc bien mal placé, puisque toutes les autres sciences roulent principalement sur des notions générales, qui ne sont pas plus réelles que l'objet de la géométrie. Le malade en général que le médecin a en vue, et dont l'idée renferme tous les malades réellement existants, n'est qu'une idée abstraite; et même le mérite de chaque science est d'autant plus grand qu'il s'étend à des notions plus générales, c'est-à-dire plus abstraites.

L'ordinaire prochain, j'aurai l'honneur de marquer à Votre Altesse à quoi aboutissent ces reproches que les philosophes font aux géomètres, et pourquoi ils ne veulent pas permettre qu'on attribue aux êtres étendus réels, c'est-à-dire aux corps existants, les propriétés qui conviennent à l'étendue en général, ou à l'étendue abstraite. Ils craignent que leurs principes de métaphysique n'en souffrent.

25 avril 1761.

LETTRE LV.

Sur la divisibilité à l'infini de l'étendue.

La controverse entre les philosophes modernes et les géomètres, dont j'ai eu l'honneur de parler à Votre Altesse, roule sur la divisibilité des corps. Cette propriété est sans doute fondée sur l'étendue; et ce n'est qu'en tant que les corps sont étendus qu'ils sont divisibles, et qu'on les peut diviser en parties.

Votre Altesse se souviendra qu'en géométrie on peut toujours partager une ligne en deux parties égales, quelque petite qu'elle soit. On y enseigne encore comment on doit diviser une petite ligne, comme *ai*, en autant de parties égales qu'on veut; et la construction de cette division y est démontrée en sorte qu'on ne saurait pas douter de sa justesse.

On n'a qu'à tirer à la ligne *ai* (*fig.* 90) une ligne parallèle AI, quelque grande et à quelque distance qu'on veuille, et y transporter autant de parties égales, AB, BC, CD, DE, etc., en combien de parties égales la petite ligne donnée doit être divisée, par exemple en huit. Ensuite on tire, par les extrémités A, *a*, I, *i*, les lignes droites A*a*O, I*i*O, jusqu'à ce qu'elles se joignent en O; et par ce point O on mène, vers tous les points des divisions B, C, D, E, etc., les lignes droites OB, OC, OD, OE, etc, qui couperont en même temps la petite ligne *ai* aussi en huit parties égales.

Fig. 90.

Cette opération réussit, quelque petite que soit la ligne proposée *ai*, et quelque grand que puisse être le nombre des parties. Il est bien vrai que l'exécution ne nous permet pas d'aller trop loin; les lignes que nous tirons ont toujours quelque largeur par laquelle elles se confondent, comme Votre Altesse peut le voir dans la figure près du point O; mais il est question ici de ce qui est possible en soi-même, et non de ce que nous sommes en état d'exécuter. Or, dans la géométrie les lignes n'ont aucune largeur, et ne se confondent par conséquent jamais. De là il s'ensuit qu'une telle division n'est limitée par aucune borne.

Dès que Votre Altesse m'accorde qu'une ligne peut être divisée en mille parties, en partageant chaque partie en deux, elle sera aussi divisible en deux mille parties, et par la même raison en quatre mille parties, et puis en huit mille, sans qu'on parvienne jamais à des parties si petites qu'on ne puisse plus diviser. Quelque petite qu'on conçoive une ligne, elle est divisible en deux moitiés, et ensuite chaque moitié encore en deux, et chacune de celles-ci encore en deux, et ainsi de suite à l'infini.

Ce que je viens de dire ici d'une ligne s'applique aisément à une surface, et encore à plus forte raison à un solide doué de toutes les trois dimensions en longueur, largeur et profondeur. De là on dit que toute étendue est divisible à l'infini, et cette propriété est nommée la *divisibilité à l'infini.*

Quiconque voudrait nier cette propriété de l'étendue serait obligé de soutenir qu'on en viendrait enfin à des parties si petites, qu'elles

ne seraient plus susceptibles d'une division ultérieure ; et cela, parce qu'elles n'auraient plus d'étendue. Cependant toutes ces particules prises ensemble doivent reproduire le tout, par la division duquel on y est parvenu ; donc, puisque la quantité de chacune serait *rien* ou *zéro*, plusieurs zéros pris ensemble produiraient quelque quantité, ce qui est ouvertement absurde. Car Votre Altesse sait bien, par l'arithmétique, que deux ou plusieurs zéros joints ensemble ne donnent jamais quelque chose.

Ce sentiment est donc absolument insoutenable, que, dans la division d'une étendue ou d'une quantité quelconque, on parvienne enfin à des particules si petites, qui ne seraient plus divisibles à cause de leur petitesse, où il n'y aurait plus de quantité.

Pour en rendre l'absurdité plus sensible supposons qu'une ligne d'un pouce de longueur ait été divisée en mille parties, et que ces parties soient si petites qu'elles n'admettent plus de division. Chaque partie n'aurait donc plus de grandeur ; car si elle avait encore quelque grandeur, elle serait encore divisible. Chaque particule serait par conséquent *rien*, et même un vrai rien. Or, si toutes ces mille particules ensemble faisaient la longueur d'un pouce, donc la millième partie d'un pouce serait rien, ce qui est aussi absurde que de soutenir que la moitié d'une quantité ne soit rien. Or, s'il est absurde que la moitié d'une quantité ne soit rien, il est aussi absurde que la moitié d'une moitié, ou le quart de la quantité même, ne soit rien ; et ce qu'on m'accorde à l'égard du quart, on doit aussi me l'accorder à l'égard de la millième partie, et aussi à l'égard de la millionième partie. Enfin, quelque loin qu'on ait déjà poussé en imagination la division d'un pouce, il est toujours possible de la pousser encore plus loin ; et on ne parviendra jamais si loin que les dernières parties soient absolument indivisibles. Ces parties deviendront sans doute de plus en plus petites, et leur grandeur approchera de plus en plus de zéro, mais elles n'y atteindront jamais.

De là on a bien raison de dire, dans la géométrie, que toute grandeur est divisible à l'infini, et que dans une telle division on ne saurait jamais arriver si loin qu'une division ultérieure soit impossible en elle-même. Or ici il faut toujours bien distinguer ce qui est possible en soi-même, de ce que nous sommes en état de faire actuellement. Notre pratique a bien des bornes. Après avoir divisé, par exemple, un pouce en mille parties, ces parties sont si petites qu'elles échappent à notre vue, et une division ultérieure nous serait certainement impossible.

Mais on n'a qu'à regarder cette millième partie d'un pouce par

un microscope qui grossit, par exemple, mille fois; et chaque particule nous paraîtra aussi grande qu'un pouce à la vue simple : d'où l'on sera convaincu de la possibilité de partager chacune de ces particules encore en mille parties; et le même raisonnement se peut pousser toujours plus loin sans qu'on soit jamais arrêté.

C'est donc une vérité indubitable, que toute grandeur est divisible à l'infini; et elle a lieu non-seulement à l'égard de l'étendue, qui est l'objet de la géométrie, mais aussi à l'égard de toutes les autres espèces de quantités, comme du temps et du nombre.

28 avril 1761.

LETTRE LVI.

Si cette divisibilité à l'infini a lieu dans les corps actuellement existants.

C'est donc une vérité bien constatée que l'étendue est divisible à l'infini, et qu'il est impossible de concevoir des parties si petites, qu'elles ne soient plus susceptibles d'une division ultérieure. Aussi les philosophes ne disconviennent pas de cette vérité, mais ils nient qu'elle ait lieu dans les corps actuellement existants. Ils disent que l'étendue, dont on a démontré la divisibilité à l'infini, n'est qu'un objet chimérique formé par abstraction; et qu'une simple étendue, comme on la considère dans la géométrie, ne saurait exister dans le monde.

A cet égard ils ont bien raison, et l'étendue est sans doute une idée générale formée par abstraction, de même que l'idée de l'homme ou de l'arbre en général, qui n'est formée que par abstraction; et comme l'homme ou l'arbre en général n'existent pas, l'étendue en général n'existe pas non plus. Votre Altesse comprend qu'il n'y a que des êtres individuels qui existent, et que les notions générales ne se trouvent que dans notre esprit; mais on ne saurait dire pour cela que ces notions générales soient chimériques; elles renferment plutôt le fondement de toutes nos connaissances.

Tout ce qui convient à une notion générale, et toutes les propriétés qui lui sont attachées, trouvent aussi nécessairement lieu dans tous les individuels qui sont compris dans cette notion générale. Quand on dit que la notion générale de l'homme renferme un entendement et une volonté, on prétend sans doute que chaque homme individuel est revêtu de ces facultés. Et combien de propriétés ces mêmes philosophes ne se vantent-ils pas de démontrer, qui sont le partage de la substance en général, qui est sans doute une idée aussi abstraite que celle de l'étendue; et pourtant ils sou-

tiennent que toutes ces propriétés conviennent à toutes les substances individuelles, qui toutes sont étendues. En effet, si une telle substance n'avait pas ces propriétés, il serait faux qu'elles convinssent à la substance en général.

Donc, si les corps, qui sont sans doute des êtres étendus ou doués de l'étendue, n'étaient pas divisibles à l'infini, il serait aussi faux que la divisibilité à l'infini fût une propriété de l'étendue. Or, ces philosophes avouent bien que cette propriété convient à l'étendue, mais ils prétendent qu'elle ne saurait avoir lieu dans les êtres étendus. Il en est de même que si je voulais dire que l'entendement et la volonté sont bien des attributs de la notion de l'homme en général, mais ils ne sauraient avoir lieu dans les hommes individuels existants.

De là Votre Altesse tirera aisément cette conclusion : Si la divisibilité à l'infini est une propriété de l'étendue en général, il faut nécessairement qu'elle convienne aussi à tous les êtres individuels étendus; ou bien, si les êtres actuels étendus ne sont pas divisibles à l'infini, il est faux que la divisibilité à l'infini soit une propriété de l'étendue en général.

On ne saurait nier l'une ou l'autre de ces conséquences sans renverser les principes les plus solides de toutes nos connaissances; et les philosophes qui n'admettent pas la divisibilité à l'infini dans les êtres réels étendus, ne devraient pas l'admettre non plus dans l'étendue en général; mais comme ils accordent le dernier, ils tombent dans une contradiction ouverte.

Votre Altesse ne doit pas en être surprise; c'est un défaut dont les plus grands hommes ne sont pas exempts. Mais ce qui est bien surprenant, ces philosophes, tâchant de se tirer de cet embarras, s'avisent de nier que les corps soient étendus. Ils disent que ce n'est que l'apparence d'une étendue qui se trouve dans les corps, et que l'étendue ne leur convient nullement.

Votre Altesse comprend aisément que c'est une misérable chicane, par laquelle ils nient la principale et la plus évidente propriéte de tous les corps. C'est une extravagance toute semblable à celle qu'on a reprochée autrefois aux philosophes épicuriens, qui soutenaient que tout ce qui existe dans le monde est matériel, sans même en excepter les dieux, dont ils admettaient l'existence. Mais comme ils comprenaient que ces dieux corporels seraient assujettis aux plus grandes difficultés, ils ont inventé une échappatoire semblable à celle des philosophes de nos jours, en disant que les dieux n'avaient pas des corps, mais des *quasi-corps*; et qu'ils n'avaient pas des sens, mais des *quasi-sens*, et ainsi de tous les membres. Les autres

sectes de philosophes de l'antiquité se sont moquées de ces *quasi-corps* et *quasi-sens;* et elles se moqueraient aujourd'hui, avec autant de raison, de la *quasi-étendue* que nos philosophes attribuent aux corps : ce nom de *quasi-étendue* semble parfaitement bien exprimer cette apparence d'étendue, sans qu'elle soit une véritable étendue.

Or, pour les confondre, les géomètres n'auraient qu'à dire que les objets dont ils ont prouvé la divisibilité à l'infini n'étaient aussi qu'une *quasi-étendue;* et ainsi, que tous les êtres doués d'une quasi-étendue étaient nécessairement divisibles à l'infini. Mais il n'y a rien à gagner avec eux : on est prêt plutôt à soutenir les plus grandes absurdités, que d'avouer sa faute. Votre Altesse remarquera que c'est là le caractère de la plupart des savants.

2 mai 1761.

LETTRE LVII.

De la fameuse dispute sur les monades.

Quand on parle dans les compagnies de matières de philosophie, les discours roulent ordinairement sur des articles qui ont occasionné de grandes disputes parmi les philosophes.

La divisibilité des corps est un tel article, et sur lequel les sentiments des savants sont fort partagés. Les uns soutiennent que cette divisibilité va à l'infini, sans qu'on parvienne jamais à des particules si petites, qui ne seraient plus susceptibles d'une division ultérieure. Mais les autres prétendent que cette division ne va que jusqu'à un certain point, et qu'on parvient enfin à des particules si petites, qui, n'ayant aucune grandeur, ne sauraient plus être divisées. Ils nomment ces dernières particules, qui entrent dans la composition de tous les corps, des êtres simples et des monades.

Il y eut un temps où la dispute de monades était si vive et si générale, qu'on en parlait avec beaucoup de chaleur dans toutes les compagnies, et même dans les corps-de-garde. A la cour il n'y avait presque point de dames qui ne se fussent déclarées ou pour ou contre les monades. Enfin, partout le discours tombait sur les monades, et on ne parlait que de cela.

L'Académie royale de Berlin prit beaucoup de part à ces disputes; et comme elle a la coutume de proposer tous les ans une question, et de distribuer un prix d'une médaille d'or de cinquante ducats à celui qui aura le mieux discuté la question proposée au jugement de

l'Académie, elle choisit pour l'année 1746 la question sur les monades. On avait donc reçu un grand nombre de pièces sur cette matière, et feu M. le président de Maupertuis nomma une commission pour les examiner, et en remit la direction à feu M. le comte de Dohna, grand-maître de la cour de Sa Majesté la reine, qui, étant un juge impartial, examina avec tous les soins imaginables les preuves qui furent alléguées tant pour que contre l'existence des monades. Enfin on trouva que celles qui en devaient établir l'existence étaient si faibles et si chimériques, que tous les principes de nos connaissances en seraient renversés. On a donc décidé en faveur du sentiment opposé, et le prix fut adjugé à la pièce de M. de Justi, qui avait le mieux combattu les monades.

Votre Altesse comprendra aisément que cette démarche de l'Académie a terriblement irrité les partisans des monades, à la tête desquels se trouvait le grand et fameux M. de Wolf, qui ne prétendait pas être moins infaillible dans ses décisions que le pape. Ses sectateurs, dont le nombre était alors beaucoup plus grand et plus redoutable qu'aujourd'hui, crièrent hautement contre l'injustice et la partialité de l'Académie; et il s'en fallut peu que leur chef ne lançât la foudre de l'anathème philosophique contre toute l'Académie. Je ne me souviens plus à qui nous avons l'obligation de l'avoir échappé.

Comme cette matière a fait beaucoup de bruit, Votre Altesse ne sera pas sans doute fâchée que je m'y arrête un peu. Toute la dispute se réduit à cette question : Si les corps sont divisibles à l'infini, ou non? ou bien : Si la divisibilité des corps a des bornes, ou non? Là-dessus, j'ai déjà remarqué que de part et d'autre on tombe d'accord que l'étendue qu'on considère dans la géométrie est divisible à l'infini; puisque, quelque petite que soit une grandeur, on en peut concevoir encore la moitié, et de cette moitié encore la moitié, et ainsi de suite sans fin.

Cette notion de l'étendue est bien une notion abstraite, de même que les notions de tous les genres, comme de l'homme, du cheval, de l'arbre, etc., en tant qu'on n'applique pas ces notions à un être individuel et déterminé. Ensuite, c'est le principe le plus certain de toutes nos connaissances, que tout ce qui convient au genre convient aussi à tous les individus qui sont compris sous ce genre. Donc, si tous les corps sont étendus, toutes les propriétés qui conviennent à l'étendue doivent aussi convenir à chaque corps en particulier. Or, tous les corps sont étendus, et l'étendue est divisible à l'infini; donc chaque corps le sera aussi. Voilà un syllogisme dans la meilleure forme; et puisqu'on ne saurait douter de la première proposition, il ne s'agit que de savoir si la seconde est

vraie ou non; c'est-à-dire, s'il est vrai ou non que les corps sont étendus.

Les partisans des monades, pour soutenir leur sentiment, sont obligés de dire que les corps ne sont pas étendus, et qu'ils n'ont qu'une étendue apparente, ou une *quasi-étendue*. Par là ils croient avoir suffisamment détruit l'argument rapporté pour la divisibilité à l'infini. Mais si les corps ne sont pas étendus, je voudrais bien savoir d'où nous avons puisé notre idée de l'étendue; car si les corps ne sont pas étendus, rien n'est étendu au monde, puisque les esprits le sont encore moins. Notre idée de l'étendue serait donc tout à fait imaginaire et chimérique.

Dans ce cas, la géométrie serait une spéculation entièrement inutile et illusoire, et elle n'admettrait jamais aucune application aux choses qui existent réellement au monde : car si rien n'est étendu, à quoi bon approfondir les propriétés de l'étendue? Mais puisque la géométrie est sans contredit une des sciences les plus utiles, il faut bien que son objet ne soit pas une pure chimère.

On sera donc obligé d'accorder que l'objet de la géométrie est au moins la même étendue apparente que ces philosophes admettent dans les corps; or ce même objet est divisible à l'infini : donc aussi les êtres existants doués de cette étendue apparente le seront nécessairement.

Enfin, de quelque manière que ces philosophes se tournent pour soutenir leurs monades, ou ces dernières et plus petites particules sans aucune grandeur, dont, selon eux, tous les corps sont composés, ils se plongent toujours dans les plus grandes difficultés, dont ils ne sauraient jamais se débarrasser. Ils disent bien que ce ne sont que des esprits grossiers qui ne sauraient goûter leur sublime doctrine; mais on remarque pourtant que les génies les plus stupides y réussissent le mieux.

5 mai 1761.

LETTRE LVIII.

Réflexions ultérieures sur la divisibilité à l'infini des corps, et sur les monades.

Quand on parle de la divisibilité des corps, il faut bien distinguer celle qui est en notre pouvoir de celle qui est possible en elle-même. Dans le premier sens, il n'y a aucun doute que la division dont nous sommes capables pour diviser les corps atteint bientôt ses bornes.

En pilant une pierre, nous la pouvons bien réduire en poudre; et si l'on pouvait compter toutes les petites parcelles qui forment cette poudre, leur nombre serait sans doute bien grand, et on serait surpris d'avoir divisé la pierre en tant de parties. Mais ces mêmes parcelles seront presque indivisibles à notre égard, puisque tous les instruments dont nous pourrions nous servir n'y ont aucune prise. Cependant on ne saurait dire qu'elles sont indivisibles en elles-mêmes; on n'a qu'à regarder par un microscope, et chacune paraîtra comme une pierre assez considérable, sur laquelle on peut distinguer quantité de points et d'inégalités; d'où nous sommes convaincus qu'une division ultérieure y est bien possible, quoique nous ne soyons pas en état de l'exécuter. Car partout où l'on peut distinguer plusieurs points dans un objet, il faut bien qu'il soit divisible au moins en autant de parties.

Ainsi on ne parle pas de la division actuelle à laquelle nos forces et notre adresse sont suffisantes, mais de celle qui est possible en elle-même, et que la toute-puissance divine pourrait exécuter.

C'est aussi dans ce sens que les philosophes prennent le mot de divisibilité; de sorte que, s'il y avait une grande pierre, et qu'elle fût si dure qu'aucune force ne fût capable de la casser, on ne *douterait* pas d'avancer que cette pierre était, de sa nature, aussi bien divisible que la plus fragile de la même grandeur. Et combien de corps n'y a-t-il pas sur lesquels nous n'avons aucune prise, et dont nous ne doutons pas qu'ils ne soient divisibles! Qui doute que la lune ne soit un corps divisible, quoiqu'il ne puisse pas en détacher la moindre partie; et cela, par la seule raison qu'elle a de l'étendue?

Partout où nous remarquons de l'étendue, nous sommes forcés d'y reconnaître la divisibilité; de sorte que la divisibilité est une propriété inséparable de l'étendue. Mais l'expérience nous convainc aussi que la division des corps va très-loin. Je ne m'arrête pas à l'exemple d'un ducat, qu'on allègue ordinairement, que les ouvriers savent battre en feuilles si minces, qu'on en peut couvrir une très-grande surface; et le ducat sera divisé en autant de parties que cette surface peut l'être. Notre propre corps nous fournit un exemple bien surprenant. Que Votre Altesse considère les moindres veines et les moindres nerfs dont notre corps est rempli, et encore les fluides qui passent au travers. La subtilité qu'on y découvre surpasse notre imagination.

Ensuite les plus petits insectes que nous ne voyons presque point à la vue simple, ils ont tous leurs membres et leurs jambes, avec lesquelles ils courent avec une prodigieuse vitesse. D'où nous comprenons que chaque jambe a ses muscles, composés de quantité

de fibres; qu'il y a des nerfs, et un fluide encore plus subtil qui les traverse.

Quand on considère, à l'aide d'un excellent microscope la moindre goutte d'eau, elle ressemble à une mer, où l'on voit nager des milliers de petites créatures vivantes, dont chacune est nécessairement composée d'une infinité de petites fibres musculaires et nerveuses, dont la structure merveilleuse nous doit ravir en admiration. Ensuite ces petites créatures, quoiqu'elles soient peut-être les plus petites que nous puissions découvrir par les microscopes, elles ne sont pas sans doute les plus petites que Dieu ait produites. Autant elles sont plus petites que nous, il y en aura vraisemblablement aussi d'autres qui sont autant de fois plus petites qu'elles. Enfin, celles-ci ne seront pas aussi les plus petites; elles seront également suivies d'une infinité de nouvelles classes, dont chacune comprend des créatures incomparablement plus petites que les précédentes.

C'est ici que nous devons reconnaître la toute-puissance de la sagesse du Créateur, aussi bien que dans la grandeur des créatures; et il me semble que la considération de toutes ces petitesses, dont chacune est suivie d'une autre encore incomparablement plus petite, doit faire la plus vive impression sur nos esprits, et les porter aux plus sublimes idées des œuvres du Tout-Puissant, dont le pouvoir n'est pas moins illimité à l'égard des petites choses que des grandes.

C'est donc aussi à cet égard une marque d'un esprit très-borné, de s'imaginer qu'après avoir divisé un corps en un grand nombre de parties, on parvienne enfin à des particules si petites, qu'à cause de leur petitesse elles se refusent à toute division ultérieure. Mais supposons qu'on parvienne à des particules si petites que, par leur propre nature, elles ne sauraient plus être divisées, ce qui est bien le cas des monades : avant d'arriver à ce point, on aura une particule composée seulement de deux monades, et cette particule aura une certaine grandeur ou étendue; car sans cela elle n'aurait pas été divisible en ces deux monades. Supposons de plus que cette particule, puisqu'elle a encore quelque étendue, soit la millième partie d'un pouce, ou encore plus petite, si l'on veut, car il n'importe; ce que je dirai de la millième partie d'un pouce se pourrait dire également de toute autre partie plus petite. Cette millième partie d'un pouce est donc composée de deux monades; et par conséquent deux monades ensemble seraient la millième partie d'un pouce, et deux mille fois rien, un pouce entier; l'absurdité en saute d'abord aux yeux.

Aussi les monadistes redoutent-ils beaucoup cet argument, et ils sont fort indécis quand on leur demande combien de monades il faut pour produire une étendue. Il leur semble que deux seraient trop peu, et ils disent qu'il en faut plusieurs. Or, si deux monades ne peuvent pas produire de l'étendue, puisque chacune n'en a point, ni trois, ni quatre, ni autant qu'on veut, n'en produiront pas non plus, par la même raison; ce qui renverse de fond en comble tout le système des monades.

9 mai 1761.

LETTRE LIX.

Réfutation et réponse aux objections des monadistes contre la divisibilité à l'infini des corps.

Il s'en faut beaucoup que les partisans des monades se rendent aux raisons qu'on allègue pour prouver la divisibilité des corps à l'infini. Sans renverser directement ces raisons, ils disent que la divisibilité à l'infini est une chimère des géomètres, et qu'elle implique des contradictions ouvertes. Car si chaque corps est divisible à l'infini, il contiendrait une infinité de parties, les plus petits corps aussi bien que les grands : le nombre de ces particules auxquelles la divisibilité à l'infini doit conduire, c'est-à-dire, des particules dernières dont les corps sont composés, sera donc aussi grand dans le plus petit corps que dans le plus grand, ce nombre étant dans l'un et dans l'autre infini; et de là les partisans des monades se flattent que leur argument devient invincible. Car si le nombre des dernières particules dont deux corps sont composés est le même de part et d'autre, il faut bien, disent-ils, que les corps soient parfaitement égaux entre eux.

Or ceci suppose ouvertement que les dernières particules sont toutes parfaitement égales entre elles; car si les unes étaient plus grandes que les autres, il ne serait pas surprenant que l'un des deux corps fût beaucoup plus grand que l'autre. Mais, disent-ils, il faut bien que toutes les dernières particules de tous les corps soient égales entre elles, puisqu'elles n'ont plus aucune étendue, et que leur grandeur s'évanouit absolument, ou qu'elle est rien. De là ils forment même une nouvelle objection, en disant que tous les corps seraient composés d'une infinité de riens, ce qui serait encore une plus grande absurdité.

J'en conviens très-volontiers, mais je remarque que les mona-

distes ne devraient pas faire cette objection, eux qui soutiennent que tous les corps sont composés d'un certain nombre de monades, quoique les monades, par rapport à la grandeur, soient absolument des riens; de sorte que, de leur propre aveu, plusieurs riens sont capables de produire un corps. Ils disent bien que leurs monades ne sont pas rien, mais qu'elles sont douées d'une excellente qualité, sur laquelle la nature des corps qui en sont composés est fondée. Or ici il n'est question que de l'étendue; et comme ils sont obligés de dire que leurs monades n'ont aucune étendue, ou que leur étendue est rien, selon eux quelques riens feraient toujours quelque chose.

Mais je ne veux pas pousser plus loin cet argument contre les monades : il s'agit ici de répondre directement à leur objection tirée des dernières particules de tous les corps, et par laquelle ils se flattent de remporter une victoire complète sur les partisans de la divisibilité à l'infini.

Or, d'abord, je voudrais bien savoir ce que les monadistes entendent par les dernières particules d'un corps. Dans leur système, où chaque corps est composé d'un certain nombre de monades, je comprends très-bien que les dernières particules d'un corps sont les monades mêmes qui le constituent; mais dans le système de la divisibilité à l'infini, ce mot de dernières particules m'est absolument incompréhensible.

Ils disent bien que ce sont les particules auxquelles on parvient à la division d'un corps après qu'on aura continué cette division à l'infini. Mais il me semble que c'est autant que si l'on disait : après qu'on aura achevé une division qui ne finit jamais. Car la divisibilité à l'infini ne signifie autre chose que la possibilité de continuer toujours la division plus loin, sans qu'on parvienne jamais à la fin où l'on serait obligé de cesser. Donc celui qui soutient la divisibilité à l'infini nie hautement l'existence des dernières particules des corps, et c'est une contradiction manifeste de supposer des dernières particules et la divisibilité à l'infini en même temps.

Je réponds donc aux monadistes que leur objection contre la divisibilité des corps à l'infini serait très-bonne, si ce système admettait des dernières particules; mais puisque ces dernières particules en sont expressément exclues, tout ce magnifique raisonnement se détruit de lui-même.

Il est donc faux que dans le système de la divisibilité à l'infini, les corps soient composés d'une infinité de particules. Quelque liées que paraissent ces deux propositions aux partisans des monades, elles se contredisent ouvertement; car celui qui soutient que les

corps sont divisibles à l'infini ou sans fin, nie absolument l'existence des dernières particules, et par conséquent il ne saurait y être question des dernières particules. Ce mot ne signifie autre chose que des particules telles qu'elles ne sauraient plus être divisées, une signification qui ne saurait en aucune manière subsister dans le système de la divisibilité à l'infini. Cette formidable attaque des monadistes est donc entièrement repoussée.

12 mai 1761.

LETTRE LX.

Sur le principe de la raison suffisante, qui est le plus fort appui des monadistes.

Votre Altesse reconnaîtra aisément que, des deux systèmes dont j'ai tant parlé, il faut absolument que l'un soit vrai et l'autre faux, puisqu'il n'y a point de troisième qui tienne un milieu entre eux.

On convient de part et d'autre que les corps sont divisibles; il s'agit seulement de décider si cette divisibilité a des bornes, ou si elle peut aller toujours plus loin sans qu'on parvienne jamais à des particules indivisibles.

Si le premier cas a lieu, c'est le système des monades qui est établi; car après avoir divisé un corps jusqu'à ce qu'on soit parvenu à ces particules qui ne sont plus susceptibles de division, ces mêmes particules sont les monades; et on aurait raison de dire que tous les corps sont composés de monades, et chacun d'un certain nombre déterminé. Donc, qui nie le système des monades doit nier aussi que la divisibilité des corps ait des bornes. Il doit donc soutenir qu'il est possible de pousser cette divisibilité toujours plus loin sans qu'on soit jamais réduit à s'arrêter; et c'est l'autre cas de la divisibilité à l'infini, où l'on nie absolument l'existence des dernières particules, et par conséquent toutes les difficultés tirées du nombre infini des dernières particules se détruisent elles-mêmes. Dès qu'on nie les monades on ne saurait plus parler des dernières particules, et encore moins de leur nombre qui entre dans la composition de chaque corps.

Votre Altesse aura remarqué que ce que j'ai rapporté jusqu'ici en faveur des monadistes n'est pas d'un grand poids Mais à présent j'aurai l'honneur de lui dire que leur plus fort appui est le grand principe de la *raison suffisante*, dont ils savent se servir si adroitement, que par son moyen ils sont en état de démontrer tout ce qui leur convient, et détruire tout ce qui s'oppose à leurs sentiments. C'est donc la plus heureuse découverte qu'on ait jamais

faite, savoir, que rien ne saurait être sans une raison suffisante, et c'est uniquement aux philosophes modernes que nous en sommes redevables.

Pour donner une idée de ce prétendu principe, Votre Altesse n'a qu'à considérer que de tout ce qui se présente on peut toujours demander pourquoi la chose est telle qu'elle est; et la réponse à cette question est ce qu'on nomme la raison suffisante, bien supposé qu'elle réponde effectivement à la question qu'on aura faite. Donc, partout où la demande *pourquoi* peut avoir lieu, on y comprend la possibilité d'une réponse satisfaisante, et qui en contiendra par conséquent la raison suffisante.

Il s'en faut beaucoup que ce soit un mystère qui n'ait été découvert que de nos jours. De tout temps les hommes ont en toute occasion demandé *pourquoi;* ce qui est une preuve incontestable qu'ils ont reconnu que toutes les choses doivent avoir une raison suffisante pourquoi elles sont. C'était aussi un principe très-connu des anciens philosophes que rien n'était sans cause. Mais malheureusement cette cause nous est le plus souvent cachée; nous avons beau demander pourquoi, il n'y a personne qui nous en indique la raison suffisante. Il n'est point douteux que tout n'ait sa raison suffisante; mais par là nous ne sommes guère avancés tant que cette raison nous demeure inconnue.

Votre Altesse pensera peut-être que les philosophes modernes qui se vantent tant de ce principe de la raison suffisante, ont aussi découvert cette raison suffisante de toutes les choses, et qu'ils sont en état de répondre à tous les *pourquoi* qu'on leur pourrait demander; ce qui serait sans doute le plus grand degré de nos connaissances. Mais rien moins; ils sont à cet égard aussi ignorants que tous les autres: tout leur mérite, dont ils se vantent tant, ne consiste qu'en ce qu'ils prétendent avoir démontré que, partout où l'on peut demander *pourquoi*, il doit y avoir une réponse suffisante, quoiqu'elle nous soit cachée pour la plupart.

Ils conviennent bien que les anciens avaient aussi des connaissances de ce principe, mais que cette connaissance n'était que très-obscure, tandis qu'eux avaient mis ce principe dans tout son jour et en avaient démontré la vérité : c'est la raison aussi qu'ils en savent tirer plus de profit, et que ce principe les met en état de prouver que les corps sont composés de monades.

Il faut, disent-ils, que les corps aient quelque part leur raison suffisante; mais, s'ils étaient divisibles à l'infini, aucune raison suffisante ne saurait avoir lieu : d'où ils concluent d'un air très-philosophique que, puisque tout doit avoir sa raison suffisante, il faut abso-

lument que tous les corps soient composés de monades. C'est ce qu'il fallait démontrer. Voilà, je l'avoue, une démonstration sans réplique.

Il serait bien à souhaiter qu'un raisonnement si léger fût capable de nous éclairer dans des questions si importantes; mais pour moi je dois avouer que je ne comprends absolument rien à tout ce beau raisonnement. On parle de la raison suffisante des corps, par laquelle on veut répondre à un certain *pourquoi*, qu'on n'explique pas. Or il faut sans doute toujours bien connaître et examiner une question avant d'y répondre. Ici on donne la réponse avant d'avoir seulement formé la question.

Est-ce qu'on demande pourquoi les corps existent? Il serait, à mon avis, fort ridicule d'y répondre : Parce qu'ils sont composés de monades; comme si les monades renfermaient la cause de leur existence. Ce ne sont pas sans doute les monades qui ont créé les corps. Or, quand je demande pourquoi un être actuel existe, je ne vois d'autre réponse que de dire : Parce que le Créateur lui a donné l'existence. Et sur la manière dont la création s'est faite, je crois que les philosophes doivent franchement reconnaître leur ignorance.

Mais ils soutiennent que Dieu n'aurait pu produire des corps à moins qu'il n'eût auparavant créé des monades, et que les corps ont ensuite été formés par la composition des monades. Or cela suppose ouvertement que les corps sont nécessairement composés de monades, ce qu'ils voudraient pourtant prouver par ce raisonnement. Votre Altesse comprend aisément que, quand on veut prouver quelque chose, on n'en doit pas supposer d'avance la vérité. C'est une supercherie qu'on nomme dans la logique une *pétition de principe*.

16 mai 1761.

LETTRE LXI.

Autre argument des partisans des monades tiré du principe de la raison suffisante, et sur les absurdités qui en découlent nécessairement.

Les partisans des monades tirent aussi leur grand argument du principe de la raison suffisante de cette façon. Ils disent qu'ils ne sauraient pas même comprendre la possibilité des corps, s'ils étaient divisibles à l'infini, puisqu'il n'y aurait rien où ils pourraient fixer leur imagination; ils voudraient avoir des parties dernières, ou des éléments de la composition desquels ils pourraient expliquer la formation des corps.

Mais prétendent-ils donc comprendre la possibilité de toutes les

choses qui existent? cela serait sans doute trop orgueilleux. Cependant rien n'est plus commun parmi ces philosophes que de raisonner sur ce pied-là : Je ne saurais comprendre la possibilité de cette chose à moins qu'elle ne soit telle que je l'imagine; donc il faut nécessairement qu'elle soit telle.

Votre Altesse comprendra aisément le frivole de cette manière de raisonner, et que la vérité demande des recherches plus profondes pour y arriver. Notre ignorance ne saurait jamais devenir un argument qui nous conduise à la connaissance de la vérité, et celui que je viens d'apporter est ouvertement fondé sur l'ignorance d'autres manières dont la chose pourrait être possible.

Mais à la bonne heure, si rien n'existait que ce dont ils peuvent comprendre la possibilité, pourraient-ils donc expliquer comment les corps seraient composés de monades? Les monades, n'ayant aucune étendue, doivent être considérées comme des points dans la géométrie, ou comme nous représentons les esprits et les âmes. Or on sait que plusieurs points géométriques, quelque grand qu'on suppose leur nombre, ne sauraient jamais produire une ligne, et par conséquent encore moins une surface, ou même un corps. Si mille points suffisaient à constituer la millième partie d'un pouce, il faudrait que chacun eût une certaine étendue qui, étant prise mille fois, deviendrait égale à la millième partie d'un pouce. Enfin, c'est une vérité incontestable que tant de points qu'on voudra ne sauraient jamais produire la moindre étendue. Je parle ici des véritables points, tels qu'on les conçoit dans la géométrie, sans aucune longueur, largeur et épaisseur, et qui à cet égard sont absolument rien.

Aussi nos philosophes conviennent-ils qu'aucune étendue ne saurait être produite par des points géométriques, et ils protestent solennellement qu'on ne doit pas confondre leurs monades avec ces points. Elles n'ont pas plus d'étendue que les points, disent-ils; mais elles sont revêtues de qualités tout à fait admirables, comme de se représenter le monde tout entier par des idées, mais extrêmement obscures; et ce sont ces qualités qui les rendent propres à produire le phénomène de l'étendue, ou plutôt cette *quasi-étendue* dont j'ai parlé ci-dessus. On doit donc se former des monades la même idée que celle des esprits et des âmes; avec cette seule différence, que les facultés des monades sont beaucoup plus imparfaites.

Or il me semble que la difficulté devient à présent beaucoup plus grande; et je me flatte que Votre Altesse sera du même sentiment, que deux ou plusieurs esprits ne sauraient être joints pour former une étendue. Plusieurs esprits pourront bien former une assemblée ou un conseil, mais jamais une étendue. En effet, si

nous faisons abstraction du corps de chaque conseiller, lequel ne contribue rien aux délibérations, qui ne sont que les ouvrages des esprits, un conseil n'est autre chose qu'une assemblée d'esprits ou d'âmes; mais une telle assemblée pourrait-elle bien représenter une étendue? De là il s'ensuit que les monades sont encore moins propres à produire une étendue que les points géométriques.

Les monadistes ne sont aussi pas d'accord sur cet article. Quelques-uns disent que les monades sont des parties actuelles des corps, et qu'après avoir divisé un corps aussi loin qu'il est possible on parvient alors effectivement aux monades qui constituent ce corps.

D'autres nient absolument que les monades puissent être regardées comme les parties d'un corps. elles n'en contiennent que la raison suffisante : pendant que le corps se meut, les monades ne se meuvent point, mais elles contionnent la raison suffisante du mouvement. Enfin les monades ne sauraient se toucher les unes les autres: ainsi, quand ma main touche un corps, aucune monade de ma main ne touche aucune monade du corps.

Qu'y a-t-il donc, demandera Votre Altesse, qui se touche dans cet attouchement, si ce ne sont pas les monades qui renferment toute la réalité tant de ma main que du corps? Il ne reste d'autre réponse, que ce sont deux riens qui se touchent l'un l'autre; ou plutôt on nie qu'il y ait un attouchement réel. Ce n'est qu'une illusion destituée de toute réalité. Ils sont obligés de dire la même chose de tous les corps, qui, selon ces philosophes, ne sont que des fantômes que notre esprit se forme, en se représentant très-confusément les monades qui contiennent la raison suffisante de tout ce que nous nommons corps.

Dans cette philosophie tout est esprit, fantôme et illusion; et quand nous autres ne pouvons pas comprendre ces mystères, c'est notre stupidité qui nous tient attachés aux notions grossières du peuple.

Le plus singulier ici est que ces philosophes, dans le dessein d'approfondir et d'expliquer la nature des corps et de l'étendue, sont enfin parvenus à nier l'existence des corps et de l'étendue. C'est sans doute le plus sûr moyen de réussir dans l'explication des phénomènes de la nature: on n'a qu'à les nier, et en alléguer pour preuve le principe de la raison suffisante. Voilà à quelle extravagance les philosophes sont capables de se livrer, plutôt que d'avouer leur ignorance.

19 mai 1761.

LETTRE LXII.

Réflexions plus détaillées sur le système des monades.

Ce serait cependant bien dommage si cet ingénieux système des monades tombait en ruine. Il a trop fait de bruit et a coûté à ses partisans trop de sublimes et de profondes spéculations pour pouvoir s'oublier tout à fait. Il restera toujours un monument remarquable des égarements où peuvent tomber les esprits des philosophes. Il vaudra donc bien la peine d'en donner à Votre Altesse une description plus détaillée.

D'abord il faut bannir de nos esprits tout ce qui est corporel, toute étendue, tout mouvement, tout temps et tout espace, puisque tout cela n'est qu'illusion. Il n'existe au monde que des monades, dont le nombre est sans doute prodigieux. Aucune monade ne se trouve dans une liaison avec les autres; et il est démontré, par le principe de la raison suffisante, que les monades ne sauraient en aucune manière agir les unes sur les autres. Elles sont bien revêtues de forces, mais de forces qui ne se déploient qu'en elles-mêmes, sans avoir la moindre influence sur les autres.

Ces forces dont chaque monade est douée ne tendent qu'à changer continuellement leur propre état, et elles consistent dans la représentation de toutes les autres monades. Par exemple, mon âme est une monade, et elle renferme dans son fond les idées de l'état de toutes les autres monades. Ces idées sont pour la plupart très-obscures; mais les forces de mon âme sont continuellement occupées à éclaircir mieux ces idées obscures, et à les porter à un plus haut degré de clarté. Les autres monades sont à cet égard assez semblables à mon âme; chacune est remplie d'une prodigieuse quantité d'idées obscures de toutes les autres monades et de leur état; et elles travaillent continuellement, avec plus ou moins de succès, à développer successivement ces idées, et à les porter à un plus haut degré de clarté.

Celles des monades qui ont mieux réussi que moi sont des esprits plus parfaits. Mais la plupart croupissent encore dans la plus grande obscurité de leurs idées; et ce sont celles-ci, lorsqu'elles font l'objet des idées de mon âme, qui y occasionnent l'idée illusoire et chimérique de l'étendue et des corps. Toutes les fois que mon âme pense à des corps et au mouvement, c'est une marque qu'il y a une grande quantité d'autres monades qui sont encore ensevelies dans

leur obscurité; c'est encore alors, quand je pense à ces pauvres monades, que mon âme se forme une idée de quelque étendue, qui n'est par conséquent qu'une pure illusion.

Plus il y a de ces monades malheureuses plongées dans l'abîme de l'obscurité de leurs idées, plus mon âme est éblouie par l'idée de l'étendue; mais quand ces mêmes monades parviennent successivement à éclaircir leurs idées obscures, il me semble que l'étendue diminue; ce qui occasionne dans mon âme l'idée illusoire du mouvement.

Votre Altesse demandera sans doute comment mon âme s'aperçoit que les monades réussissent à développer leurs idées obscures, attendu qu'il n'y a aucune liaison entre moi et les autres monades? Là-dessus les monadistes sont prêts à répondre que cela arrive conformément à la plus parfaite harmonie que le Créateur (qui n'est lui-même qu'une monade, je rougis de le dire!) a établie parmi toutes les monades, par laquelle chacune s'aperçoit en soi-même, comme dans un miroir, de tous les développements qui se font dans les autres, sans qu'aucune liaison ait lieu entre elles.

On pourrait donc espérer qu'enfin toutes les monades deviendraient assez heureuses pour éclaircir leurs idées obscures, et alors nous perdrions toutes les idées des corps et des mouvements; et toute illusion, qui ne vient que de l'obscurité des idées, cesserait entièrement.

Mais il y a peu d'apparence de parvenir à cet état heureux; la plupart des monades, quand elles sont une fois parvenues à dévevelopper leurs idées obscures, y retombent subitement. Quand je suis enfermé dans ma chambre, je ne m'aperçois que d'une petite étendue; c'est parce qu'alors plusieurs monades ont développé leurs idées : mais dès que je sors, et que je contemple l'immense étendue du ciel, il faut que toutes ces monades soient retombées dans leur état d'engourdissement.

Ensuite il n'y a point de lieu ni de mouvement, tout cela n'étant qu'illusion; mon âme reste presque toujours au même endroit, de même que toutes les autres monades. Mais quand mon âme commence à éclaircir quelques idées qui n'étaient qu'obscures auparavant, alors il me semble que je m'approche de l'objet que ces idées me représentent, ou plutôt de celui que les monades de cette idée excitent dans moi : et c'est la véritable explication du phénomène, quand il nous semble que nous nous approchons de certains objets.

Or il n'arrive que trop souvent que les éclaircissements acquis se perdent de nouveau; alors il nous semble que nous nous éloignons

du même objet. C'est ici qu'il faut chercher le véritable dénoûment de tous nos voyages. Par exemple, mon idée de la ville de Magdebourg est occasionnée par certaines monades dont je n'ai actuellement que des idées assez obscures; c'est aussi la raison pourquoi il me semble que je suis éloigné de Magdebourg. L'année passée, ces mêmes idées se sont subitement développées, et alors je me suis imaginé que je voyageais à Magdebourg, et que j'y étais pendant quelques jours. Cependant tout ce voyage n'était qu'illusion, car mon âme ne bouge pas de sa place. C'est aussi en vain que Votre Altesse s'imagine être absente de Berlin, ce n'est qu'une illusion : la véritable raison est qu'il y a certaines monades dont la représentation confuse excite l'idée de Berlin, et que cette idée est fort obscure. Votre Altesse n'a qu'à éclaircir cette même idée, et elle sera dans le moment à Berlin. Il ne faut que cela; tout ce que nous nommons voyage, et qui coûte tant d'argent, n'est que pure illusion. Voilà le véritable plan du système des monades.

Mais Votre Altesse me demandera s'il est bien possible qu'il y ait des gens de bon sens qui soutiennent sérieusement ces extravagances? Sur quoi j'ai l'honneur de répondre qu'il n'y en a que trop, que j'en connais beaucoup; qu'il y en a à Berlin, et peut-être aussi à Magdebourg. Je crains que Votre Altesse n'en soit très-indignée.

23 mai 1761.

LETTRE LXIII.

Continuation.

Le système des monades, tel que je viens de le décrire à Votre Altesse, est une suite nécessaire du principe que les corps sont composés d'êtres simples. Dès qu'on admet ce principe, on est obligé de reconnaître la justesse de toutes les autres conséquences, qui en découlent si naturellement qu'on n'en saurait plus rejeter aucune, quelque absurde et choquante qu'elle puisse être.

D'abord ces êtres simples qui doivent composer les corps sont des monades qui n'ayant point d'étendue, leurs composés, ou les corps, n'en sauraient avoir non plus; et toutes ces étendues se changent en illusions et chimères, puisqu'il est certain que des parties qui n'ont aucune étendue ne sauraient produire une étendue véritable; ce ne sera tout au plus qu'une apparence ou un fantôme, qui nous éblouit par une idée trompeuse d'étendue. Enfin tout devient illu-

sion, et c'est sur cette illusion qu'est établi le système de l'harmonie préétablie, dont j'ai déjà eu l'honneur de faire sentir à Votre Altesse les conséquences fâcheuses.

Il faut donc être bien sur ses gardes pour ne pas se laisser entraîner dans ce labyrinthe rempli d'absurdités. Dès qu'on y a fait le premier pas, il n'y a plus moyen d'échapper. Tout dépend des premières idées qu'on se forme de l'étendue, et la manière dont les monadistes tâchent d'établir leur système est extrêmement séduisante.

Ces philosophes n'aiment pas à parler de l'étendue des corps, puisqu'ils prévoient bien qu'elle leur deviendrait fatale dans la suite. Au lieu donc de dire que les corps sont étendus, ils disent que les corps sont des êtres composés; ce qu'on ne saurait leur nier, puisque l'étendue suppose nécessairement la divisibilité, et par conséquent un amas de parties dont les corps sont composés. Mais ils abusent bientôt de cette notion d'un être composé; car ils disent qu'un être ne saurait être composé qu'en tant qu'il est composé d'êtres simples, et de là ils concluent que tout corps est composé d'êtres simples. Aussitôt qu'on leur accorde cette conclusion, on est pris; et on ne saurait plus reculer, attendu qu'on est forcé d'avouer que ces êtres simples, n'étant plus composés, ne sont pas étendus.

Cet argument captieux est très-dangereux pour nous séduire; dès qu'on s'en laisse éblouir, on leur accorde tout ce qu'ils veulent. Il ne faut qu'admettre cette proposition, que les corps sont composés d'êtres simples, c'est-à-dire de parties qui ne sont pas étendues; et l'on est tout à fait enveloppé. Il faut donc résister de toutes ses forces à cet argument, que tout être composé est composé d'êtres simples; et quand même on n'en saurait prouver la fausseté directement, les conséquences absurdes qui en découlent d'abord suffiraient à le renverser.

En effet, d'abord on convient que les corps sont étendus, c'est de là que les monadistes partent pour établir que les corps sont des êtres composés : or, après avoir déduit que les corps sont composés d'êtres simples, ils sont obligés d'avouer que les êtres simples ne sauraient produire une véritable étendue, et par conséquent que l'étendue des corps n'est qu'une illusion.

Voilà un argument bien étrange, où la conclusion est directement contraire aux prémisses : ce raisonnement commence à dire que les corps sont véritablement étendus; car, s'ils ne l'étaient pas, comment pourrait-on savoir qu'ils sont des êtres composés? et bientôt après ils concluent que les corps ne sont pas véritablement étendus. A mon avis, jamais un faux argument n'a été mieux réfuté que

celui-ci ; la question était : *Pourquoi les corps sont étendus?* et après quelque détour on donne cette réponse : *Puisqu'ils ne sont pas étendus*. Si l'on me demandait pourquoi un triangle a trois côtés, et que j'y réponde que ce n'était qu'une illusion qu'un triangle ait trois côtés, serait-on content de ma réponse?

Ainsi il est très-certain que cette proposition, que tout être composé est nécessairement composé d'êtres simples, porte à faux, quelque fondée qu'elle puisse paraître aux partisans des monades, qui prétendent même la ranger parmi les axiomes ou les premiers principes de nos connaissances. La seule absurdité à laquelle elle conduit immédiatement suffit pour la détruire, quand même on n'aurait point d'autres raisons d'en douter.

Mais puisqu'ici un être composé signifie la même chose qu'un être étendu, il en est de même que si l'on disait : Tout être étendu est composé d'êtres qui ne sont pas étendus. Or c'est précisément la question. On demande si, en divisant un corps, on parvient enfin à des parties qui ne sont plus susceptibles d'une division ultérieure, faute d'étendue ; ou si l'on ne parvient jamais à de telles particules, de sorte que la divisibilité n'ait pas de bornes?

Pour décider cette question importante, on suppose gratuitement que chaque corps est composé de telles parties qui n'ont aucune étendue. On se sert bien de quelques arguments éblouissants tirés du fameux principe de la raison suffisante, et l'on dit qu'un être composé ne saurait avoir sa raison suffisante que dans les êtres simples dont il est composé : ce qui pourrait bien être vrai si l'être composé était effectivement composé d'êtres simples, ce qu'on leur conteste. Mais dès qu'on nie la composition d'êtres simples, la raison suffisante n'y saurait être établie.

Mais, madame, il est fort dangereux de s'engager avec les gens qui croient aux monades ; car, outre qu'on n'y gagne rien, ils crient cruellement qu'on attaque le principe de la raison suffisante, ce qui est pourtant la base de toute certitude, et même de l'existence de Dieu. Selon leur avis, tous ceux qui n'admettent pas les monades, et qui rejettent le magnifique bâtiment où tout n'est qu'illusion, sont des incrédules et même des athées. Or j'espère que cette imputation frivole ne fera pas la moindre impression sur l'esprit de Votre Altesse ; les extravagances auxquelles on est obligé de se livrer en embrassant le système des monades sont trop choquantes pour qu'on ait besoin de les réfuter en détail. Tout leur fondement se réduit à un misérable abus du principe de la raison suffisante.

26 mai 1761.

LETTRE LXIV.

Fin des réflexions sur le système des monades.

Ou il faut reconnaître la divisibilité des corps à l'infini, ou il faut admettre le système des monades avec toutes les extravagances qui en découlent; il n'y a point d'autre parti à prendre. Cette alternative fournit encore aux monadistes un terrible argument pour soutenir leur cause.

Ils prétendent que par la divisibilité à l'infini on serait obligé d'accorder aux corps une qualité infinie, pendant qu'il est certain que rien n'est infini que Dieu seul.

Les monadistes sont des gens bien dangereux; tout à l'heure ils nous accusaient d'athéisme, et maintenant ils nous reprochent l'idolâtrie, et disent que nous attribuons à chaque corps des perfections infinies. Nous serions à cet égard bien pires que les païens, qui n'adoraient que quelques idoles, pendant que nous honorerions tous les corps comme des divinités. Ce serait sans doute le plus terrible reproche, s'il était tant soit peu fondé; et j'aimerais mieux embrasser le système des monades avec toutes les chimères et les illusions qui en sont les suites nécessaires, que de me déclarer pour la divisibilité à l'infini, si une si grande impiété y était attachée.

Votre Altesse conviendra que c'est une vilaine manière de disputer que de reprocher à ses adversaires l'athéisme et l'idolâtrie. Mais en quoi consiste donc cette divine infinité que nous attribuons aux corps? Est-ce qu'ils sont infiniment puissants, infiniment sages, infiniment bons, ou infiniment heureux? Rien de tout cela; nous ne disons autre chose, sinon qu'en divisant les corps, quelque loin qu'on pousse la division, il sera toujours possible de la continuer au delà, et qu'on ne viendra jamais à des particules telles qui ne seraient plus susceptibles de division. Cette propriété pourrait être aussi énoncée en disant que la divisibilité des corps n'a point de *limites;* et c'est bien mal à propos qu'on lui donne le nom *infinité*, qui ne saurait avoir lieu qu'en Dieu.

Premièrement, je remarque que le seul nom d'infini n'est pas si dangereux que ces philosophes s'imaginent. Si l'on disait, par exemple, infiniment méchant, ce serait même infiniment éloigné des perfections de Dieu.

Ensuite ces mêmes philosophes conviennent que nos âmes ne finiront jamais; où ils reconnaissent une infinité dans la durée de

l'âme, sans que cette infinité porte la moindre atteinte aux perfections infinies de Dieu. Aussi, quand on leur demande si le monde est borné ou non par rapport à l'étendue, ils sont fort indécis sur cette question. Quelques-uns avouent franchement que l'étendue du monde pourrait bien être infinie; de sorte qu'on n'arriverait jamais au bout du monde, quelque loin qu'on se portât dans les pensées : voilà donc encore une infinité qu'ils ne jugent pas hérétique.

A plus forte raison la divisibilité à l'infini ne doit leur causer aucun ombrage. Être divisible à l'infini n'est pas certainement un attribut qu'on se soit jamais avisé de reconnaître dans l'Être suprême; et la divisibilité à l'infini n'ajoute pas assurément aux corps un degré de perfection, qui ne serait pas beaucoup au-dessous de celle que ces mêmes philosophes tâchent de mettre dans les corps en les composant de leurs monades, qui, selon eux, sont des êtres doués des qualités les plus éminentes; de sorte qu'ils ne rougissent pas de donner à Dieu le nom de monade.

En effet, l'idée d'une division qui peut toujours être continuée plus loin, sans jamais être arrêtée, renferme si peu le divin, qu'elle met plutôt les corps dans un rang infiniment au-dessous de celui que les esprits et nos âmes occupent; et on peut bien dire qu'une âme, dans son essence, vaut beaucoup plus que tous les corps au monde. Or, dans le système des monadistes, chaque corps, et même le plus chétif, est composé d'un grand nombre de monades, dont chacune dans sa manière ressemble beaucoup à nos âmes. Toutes les monades se représentent le monde entier aussi bien que nos âmes; mais, disent-ils, ces monades n'en ont que des idées très-obscures, pendant que nous avons déjà des idées claires et quelquefois aussi distinctes.

Cependant qui les assure de cette différence? Ne serait-il pas à craindre que les monades qui composent cette plume avec laquelle j'écris eussent des idées du monde beaucoup plus claires que mon âme? Et comment puis-je être assuré du contraire? Je devrais avoir honte de me servir de cette plume pour écrire mes faibles pensées, pendant que les monades dont cette plume est composée ont peut-être des pensées beaucoup plus sublimes; et Votre Altesse serait peut-être plus satisfaite, si ma plume marquait plutôt ses propres pensées sur ce papier que les miennes.

Mais dans le système des monades cela n'est pas nécessaire; l'âme de Votre Altesse se représente déjà par sa propre force toutes ces sublimes idées de ma plume, mais d'une manière très-obscure; aussi tout ce que je prends la liberté d'écrire ici ne contribue abso-

lument rien à éclaircir Votre Altesse. Les monadistes ont démontré que les êtres simples ne sauraient avoir la moindre influence les uns sur les autres; et l'âme de Votre Altesse développe de son propre fonds tout ce que je m'imagine de lui proposer, sans que j'y contribue la moindre chose.

Tous les discours, avec la lecture et l'écriture, ne sont que des formalités chimériques et trompeuses, qu'une pure illusion nous fait regarder comme des moyens propres à étendre nos connaissances. Mais j'ai eu l'honneur d'entretenir Votre Altesse sur ces suites admirables du système de l'harmonie préétablie, et j'aurais lieu de craindre que ces rêveries ne lui devinssent *ennuyantes,* quoiqu'il y ait quantité de gens, d'ailleurs assez éclairés, qui regardent le système des monades avec celui de l'harmonie préétablie, qui n'en est qu'une suite nécessaire, comme le chef-d'œuvre de la force de l'esprit humain, et qui ne sauraient y penser qu'avec un très-grand et très-profond respect.

Je me flatte avoir suffisamment muni l'esprit de Votre Altesse contre toutes ces chimères, quelque séduisantes qu'elles puissent paraître; mais je serais bien fâché si par là j'eusse inspiré à Votre Altesse une mauvaise opinion contre une grande partie des philosophes de nos jours. La plupart sont très-innocents, et demeurent attachés au système par lequel ils se sont laissé éblouir une fois sans se soucier des conséquences bizarres qui en découlent nécessairement.

30 mai 1761.

TROISIÈME PARTIE.

LETTRE PREMIÈRE.

Éclaircissements sur la nature des couleurs.

Je ne saurais disconvenir que les pensées sur les couleurs, que j'ai eu autrefois l'honneur de présenter à Votre Altesse[1], sont encore fort éloignées du degré d'évidence auquel j'aurais souhaité les pouvoir porter. Cette matière a été de tout temps l'écueil des philosophes, et je ne saurais me flatter d'en lever toutes les difficultés. Cependant j'espère que les éclaircissements que je vais exposer en feront évanouir une bonne partie.

Les anciens philosophes ont rapporté les couleurs parmi les qualités des corps dont nous ne connaissons que les noms. Quand on leur demandait pourquoi un tel corps était, par exemple, rouge, ils répondaient que cela arrivait par une qualité qui faisait que ce corps paraissait rouge. Votre Altesse comprend aisément que par cette raison on n'est guère avancé, et qu'il aurait autant valu avouer franchement son ignorance sur cette question.

Descartes, qui le premier eut le courage d'approfondir les mystères de la nature, attribua les couleurs à un certain mélange de lumière et d'ombre. Or l'ombre n'étant autre chose qu'un défaut de lumière, puisque l'ombre se trouve toujours où la lumière ne saurait pénétrer, on voit bien que la lumière mêlée avec un défaut de lumière ne saurait produire les différentes couleurs que nous observons dans les corps.

Comme nous savons que nous ne voyons rien que moyennant des rayons qui entrent dans nos yeux, il faut bien que les rayons qui excitent dans nos yeux le sentiment de la couleur rouge soient d'une autre nature que ceux qui y excitent la sensation des autres couleurs; et de là on comprend aisément que chaque couleur est attachée à une certaine qualité des rayons dont le sens de la vue est frappé. Un corps nous paraît, par exemple, rouge, lorsque les rayons qui en sont lancés sont de telle nature qu'ils excitent dans nos yeux la sensation de la couleur rouge.

1. Lettres XXVII, XXVIII et XXXI de la première partie.

Tout revient donc à approfondir cette différence entre les rayons, qui fait que les uns excitent la sensation de la couleur rouge, et les autres celle des autres couleurs. Il doit donc y avoir une grande différence parmi les rayons pour produire de si différentes sensations dans nos yeux. Mais en quoi cette différence pourrait-elle consister? Voilà la grande question, à laquelle se réduit toute notre recherche.

La première différence qui s'offre entre les rayons est que les uns sont plus forts que les autres. Il n'y a aucun doute que les rayons du soleil, ou d'un autre corps fort brillant ou fort éclairé, ne soient beaucoup plus forts que ceux qui viennent d'un corps peu éclairé, ou doué d'une lumière très-faible; nos yeux en sont sans doute frappés fort différemment.

De là on pourrait soupçonner que les diverses couleurs résultent de la force des rayons; de sorte que les rayons les plus forts produisent, par exemple, la couleur rouge; les moins forts, la couleur jaune, et ensuite les couleurs verte et bleue.

Mais rien n'est plus aisé que de renverser ce sentiment, puisque nous savons par l'expérience que le même corps paraît toujours de la même couleur, soit qu'il soit plus ou moins éclairé, ou que les rayons en soient forts ou faibles. Un corps rouge, par exemple, paraît aussi bien rouge, soit qu'il soit exposé au plus grand éclat du soleil, ou qu'il se trouve dans un lieu obscur, où les rayons sont certainement très-faibles. Ce n'est donc pas dans les différents degrés de force des rayons qu'il faut chercher la cause des différentes couleurs; et la même couleur peut aussi bien être représentée par des rayons très-forts que par des rayons très-faibles. La moindre lueur nous découvre aussi bien la différence entre les couleurs que le plus grand éclat de clarté.

Il faut donc absolument qu'il se trouve encore une autre différence, parmi les rayons, qui caractérise leur nature par rapport aux diverses couleurs. Or, pour découvrir cette différence, Votre Altesse jugera sans doute qu'il vaut mieux connaître la nature et l'origine des rayons, ou bien ce qui est capable d'entrer dans nos yeux et d'y exciter la sensation de la vision; cette description ou définition d'un rayon est sans doute la plus juste, puisqu'en effet un rayon n'est autre chose que ce qui entre par la pupille, comme je viens de le dire, dans l'œil, et y excite la sensation.

J'ai déjà eu l'honneur de dire à Votre Altesse qu'il n'y a que deux systèmes ou théories pour expliquer l'origine et la nature des rayons. L'un est celui de Newton, qui soutient que les rayons sont des émanations actuelles qui sortent du soleil et des autres corps luisants; et l'autre, celui que j'ai tâché de prouver à Votre Altesse,

et dont on me regarde comme l'auteur, quoique d'autres avant moi aient eu à peu près les mêmes idées. Peut-être ai-je réussi à le porter à un plus haut degré d'évidence. Il sera donc bon de montror dans l'un et l'autre système sur quel principe on pourrait fonder la différence entre les couleurs.

Dans le système de l'émanation actuelle, où les rayons sont supposés sortir des corps luisants en forme do jet d'eau, qui en sont dardés en tous sens, on veut que les particules lancées diffèrent, ou en grosseur ou en matière, de la même manière qu'un jet d'eau pourrait lancer du vin, de l'huile et d'autres liqueurs; de sorte que les différentes couleurs soient causées par la diverse matière subtile qui est lancée du corps lumineux. Ainsi, une certaine matière subtile lancée d'un corps lumineux serait la couleur rouge, une autre matière la couleur jaune, et ainsi des autres couleurs. Cette explication montrerait assez clairement l'origine des diverses couleurs, si le système même pouvait subsister. L'ordinairo prochain, j'aurai l'honneur d'en parler plus amplement à Votre Altesse.

2 juin 1761.

LETTRE II.

Réflexions sur l'analogie entre les couleurs et les sons.

Votre Altesse se souviendra bien encore des arguments dont je me suis servi pour combattre le système de l'émanation actuelle de la lumière [1], qui me paraissaient si forts, qu'on ne saurait plus admettre ce système dans la physique. Aussi en ai-je convaincu plusieurs grands physiciens, qui ont embrassé mon sentiment avec la plus grande satisfaction.

Les rayons de lumière ne sont donc point une émanation actuelle du soleil et d'autres corps luisants, et ils ne consistent pas dans une matière subtile qui soit lancée du soleil, ot qui parvienne jusqu'à nous avec cette terrible rapidité dont Votre Altesse a eu raison d'être surprise. Ce serait sans doute un terrible torrent si les rayons parvenaient du soleil jusqu'à nous en moins de huit minutes de temps; et le corps du soleil, quelque grand qu'il soit, en serait bientôt épuisé.

Selon mon système, les rayons du soleil, que nous sentons ici, n'ont jamais été dans le soleil; ce ne sont que les particules de

1. Voyez les Lettres XVII, XVIII et XIX de la première partie.

l'éther, qui se trouvent dans nos environs, mais qui sont mises dans une agitation de vibration qui leur est communiquée par une semblable agitation du soleil même, sans qu'elles changent sensiblement de place.

Cette propagation de lumière se fait d'une manière semblable à celle dont le son provient des corps sonores. Quand Votre Altesse entend le bruit d'une cloche, ce n'est pas que la cloche lance des particules qui entrent dans les oreilles. On n'a qu'à toucher une cloche quand elle est frappée, pour s'assurer que toutes ses parties sont agitées d'un frémissement très-sensible. Cette agitation se communique d'abord aux particules de l'air plus éloignées; de sorte que toutes les particules de l'air en reçoivent successivement un frémissement semblable, lequel entrant dans l'oreille y excite le sentiment d'un son. Les cordes, dans un instrument de musique, ne laissent là-dessus aucun doute : on les voit trembler, ou aller et revenir, et on peut même déterminer par le calcul combien de fois chaque corde tremble pendant une seconde ; et, puisqu'une semblable agitation est communiquée aux particules de l'air, qui sont voisines de l'organe de l'ouïe, notre oreille en est frappée précisément autant de fois pendant une seconde, et c'est la perception de ce frémissement qui constitue la nature du son que nous apercevons. Plus le nombre des vibrations que la corde achève dans une seconde est grand, et plus le son est haut et aigu, pendant que des vibrations moins fréquentes produisent des sons bas et graves.

Toutes ces circonstances, qui accompagnent la sensation de l'ouïe, se trouvent d'une manière tout à fait analogue dans la sensation de la vue. Il n'y a que le milieu et la rapidité des vibrations qui soient différents. A l'égard du son, c'est l'air à travers duquel les vibrations des corps sonores sont transmises ; mais a l'égard de la lumière, c'est l'éther, ou ce milieu incomparablement plus subtil et plus élastique que l'air, qui se trouve répandu partout où l'air et les corps grossiers laissent des interstices.

Donc, toutes les fois que cet éther est mis dans un frémissement ou trémoussement, et qu'il est transmis dans un œil, il y excite le sentiment de la vision, qui n'est alors autre chose qu'un semblable trémoussement, dont les moindres fibrilles nerveuses au fond de l'œil sont agitées.

Votre Altesse comprendra aisément que la sensation doit être différente, selon que ce trémoussement est plus ou moins fréquent, ou selon que le nombre des vibrations qui se font dans une seconde est plus ou moins grand. Il doit en résulter une différence semblable à celle qui se fait dans les sons, lorsque les vibrations rendues

dans une seconde sont plus ou moins fréquentes. Cette différence est très-sensible à notre oreille, puisque le grave et l'aigu dans les sons en dépend. Votre Altesse se souviendra que le son marqué C dans le clavecin achève environ 100 vibrations dans une seconde; que le son D en fait 112; le son E, 125; le son F, 133; le son G, 150; le son A, 166; le son H, 187, et le son c, 200. C'est ainsi que la différente nature des sons dépend du nombre des vibrations qui s'achèvent par seconde.

Il n'y a donc aucun doute que le sens de la vue ne soit aussi différemment affecté, selon que le nombre des vibrations dont les fibrilles nerveuses dans le fond de l'œil sont excitées, est plus ou moins grand. Quand ces fibrilles frémissent 1,000 fois dans une seconde, la sensation doit être tout autre que si elles frémissaient 1,200 ou 1,500 fois dans le même temps.

Il est bien vrai que notre organe de vue n'est pas en état de compter ces grands nombres, moins encore que notre oreille ne compterait pas les vibrations qui constituent les sons; mais toujours nous pouvons fort bien distinguer le plus et le moins.

C'est donc dans cette différence qu'il faut chercher la cause des diverses couleurs; et il est certain que chaque couleur répond à un certain nombre de vibrations dont les fibrilles de nos yeux sont frappées dans une seconde, quoique nous ne soyons pas encore en état de déterminer le nombre qui convient à chaque couleur, comme nous le sommes à l'égard des sons.

Il a fallu bien des recherches pour parvenir à connaître les nombres qui répondent à tous les sons du clavecin, quoiqu'on fût déjà convaincu que la différence entre ces sons est fondée sur la diversité de ces nombres. Nous devons donc être contents de savoir que la diversité des couleurs est fondée sur les divers nombres de vibrations qui se trouvent dans les rayons, et notre connaissance est toujours assez avancée, parce que nous savons qu'il règne une si belle ressemblance entre les divers sons du clavecin et les diverses couleurs.

En général, on voit une si admirable analogie entre les objets de notre ouïe et ceux de notre vue, que les circonstances de l'une servent à éclaircir celles de l'autre. C'est aussi cette analogie qui fournit les preuves les plus convaincantes pour établir mon système. Mais j'aurai l'honneur d'appuyer en particulier mon sentiment sur les couleurs par des raisons encore plus solides, qui le mettront à l'abri de tous les doutes.

6 juin 1761.

LETTRE III.

Suite de ces réflexions.

Rien n'est plus propre à nous éclaircir sur la nature de la vision que la belle analogie qu'on découvre presque partout entre elle et l'ouïe. Ce que sont par rapport à l'ouïe les divers sons dans la musique, les diverses couleurs le sont par rapport à la vue. Les diverses couleurs diffèrent entre elles d'une manière semblable à celle dont les sons graves et aigus diffèrent entre eux. Or, nous savons que le grave et l'aigu dans les sons dépendent du nombre des vibrations dont l'organe de l'ouïe est frappé pendant un certain temps, et que la nature de chaque son est déterminée par un certain nombre qui marque les vibrations rendues dans une seconde : d'où je conclus que chaque couleur est aussi astreinte à un certain nombre de vibrations qui agissent sur l'organe de la vision.

Il n'y a que cette différence : que les vibrations qui produisent les sons résident dans l'air grossier, pendant que celles de la lumière et des couleurs sont transmises par un milieu incomparablement plus subtil et plus élastique que celui de l'air. Il en est de même des objets de l'un et de l'autre sens. Ceux de l'ouïe sont tous les corps propres à rendre des sons, c'est-à-dire ceux qui sont susceptibles d'un mouvement de vibration ou de trémoussement, lequel, se communiquant à l'air, excite ensuite dans notre organe le sentiment d'un certain son qui convient à la rapidité des vibrations.

Tels sont les instruments de musique ; et, pour m'arrêter principalement au clavecin, on attribue à chaque corde un certain son, qu'elle rend étant frappée. Ainsi une corde est nommée du son C, une autre du son D, et ainsi de suite. Une corde est dite être C, lorsque sa tension et sa structure est telle qu'étant frappée elle rend environ 100 vibrations par seconde ; et, si elle rendait plus ou moins de vibrations dans le même temps, elle aurait le nom d'un autre son plus aigu ou plus grave.

Votre Altesse se souviendra que le son d'une corde dépend de ces trois choses : 1° de sa longueur, 2° de son épaisseur, 3° de la force dont elle est tendue ; et, plus elle est tendue, plus le son devient aigu. Aussi, tant qu'une corde conserve cette même disposition, elle conserve aussi le même son ; mais dès qu'elle souffre quelque changement, elle change aussi de son.

Appliquons tout ceci aux corps en tant qu'ils sont des objets de

notre vue. Les moindres particules qui composent le tissu de leur surface peuvent être regardées comme des cordes tendues, en tant qu'elles sont douées d'un certain degré de ressort et de masse; de sorte qu'étant convenablement frappées elles en reçoivent un mouvement de vibration, dont elles achèveront un certain nombre dans une seconde; et c'est aussi de ce nombre que dépend la couleur que nous attribuons à ce corps.

De là un corps est rouge lorsque les particules de sa surface ont une telle tension, qu'étant ébranlées elles rendent précisément autant de vibrations dans une seconde qu'il en faut pour exciter en nous le sentiment de la couleur rouge. Un autre degré de tension qui produirait des vibrations plus ou moins rapides exciterait aussi le sentiment d'une autre couleur, et le corps serait alors ou jaune, ou vert, ou bleu, etc.

Nous ne sommes pas encore parvenus à pouvoir assigner à chaque couleur le nombre de vibrations qui en constituent l'essence, et nous ne savons pas même quelles sont les couleurs qui demandent une plus grande ou une plus petite rapidité dans le mouvement des vibrations; ou bien il n'est pas encore décidé quelles couleurs répondent aux sons graves et aux sons aigus. Mais il suffit de savoir que chaque couleur est attachée à un certain nombre de vibrations, quoique ce nombre nous soit inconnu, et qu'on n'a qu'à changer la tension ou le ressort des moindres particules qui tapissent la surface d'un corps pour lui faire changer aussi de couleur.

C'est ainsi que nous voyons que les plus belles couleurs des fleurs changent bientôt et s'évanouissent; et la raison s'en trouve évidemment dans le défaut du suc nourricier, d'où les moindres particules perdent leur vigueur ou leur tension. Une semblable cause s'observe aussi dans tous les autres changements des couleurs.

Pour mettre cela dans un plus grand jour, supposons que le sentiment de la couleur rouge demande une telle rapidité dans le mouvement des vibrations que 1,000 s'achèvent dans une seconde; que l'orange en exige 1,125, le jaune 1,250, le vert 1,333, le bleu 1,500, et le violet 1,666 : car, quoique ces nombres soient sans doute faux, cela ne fait rien à mon dessein. Tout ce que je dirai de ces faux nombres se pourra dire de la même manière des nombres véritables, quand ils seront peut-être un jour connus.

Cela posé, un corps sera rouge lorsque les moindres particules de sa surface se trouvent dans une telle disposition, qu'étant mises en vibration elles en achèvent 1,000 par seconde; un autre corps sera orange lorsque ses particules seront disposées à rendre 1,125 vi-

brations par seconde, et ainsi de suite. De là on comprend qu'il y a une infinité de couleurs moyennes entre les six couleurs principales que je viens de rapporter; et de là on voit aussi que si un corps était tel, que ses particules étant ébranlées rendissent 1,400 vibrations par seconde, ce corps aurait une couleur moyenne entre le vert et le bleu, puisque le vert répond au nombre 1,333 et le bleu au nombre 1,500.

De cette manière notre connaissance sur les couleurs est incomparablement plus parfaite que celle du peuple, et même des philosophes, dont ceux qui se vantent être les plus clairvoyants se sont égarés jusqu'à envisager les couleurs comme de pures illusions en leur refusant toute réalité.

9 juin 1761.

LETTRE IV.

Sur la question : De quelle manière les corps opaques nous deviennent visibles.

Votre Altesse ne trouvera aucune difficulté dans l'idée que je viens d'établir des corps colorés. Les moindres particules dont les surfaces de tous les corps sont tapissées sont toujours douées d'un certain degré de ressort qui les rend susceptibles d'un mouvement de vibration ou d'agitation, de même qu'une corde qui est toujours susceptible d'un certain son. Et c'est le nombre de vibrations que ces particules sont capables de rendre dans une seconde, qui détermine l'espèce de la couleur.

En cas que les particules de la surface soient trop relâchées pour recevoir une telle agitation, le corps sera noir, puisque la noirceur n'est autre chose qu'un manque de lumière, et que tous les corps, dont aucun rayon n'est transmis dans nos yeux, nous paraissent noirs.

Je viens à présent à une question bien importante sur laquelle Votre Altesse pourrait bien encore avoir quelques doutes. On demande par quelle cause lesdites particules où les couleurs des corps résident sont actuellement ébranlées, pour recevoir ce mouvement de vibration qui excite ensuite des rayons de la même couleur?

En effet, tout revient à découvrir cette cause capable de produire une agitation; car, dès que les particules mentionnées seront mises dans un mouvement de vibration, l'éther répandu dans l'air en reçoit d'abord une semblable agitation, qui, étant continuée

dans nos yeux, y constitue ce que nous nommons *rayons*, d'où la vision est excitée.

D'abord je remarque que les particules des corps ne sont pas mises en mouvement par elles-mêmes, mais qu'il faut pour cet effet une force étrangère; de même qu'une corde tendue demeurerait toujours en repos si elle n'était pas frappée par quelque force. C'est aussi le cas où se trouvent tous les corps pendant la nuit ou dans les ténèbres; car, puisque nous ne les voyons point, c'est une marque certaine qu'ils n'engendrent point de rayons et que leurs particules sont en repos; c'est-à-dire que pendant la nuit ou dans les ténèbres les corps se trouvent dans le même cas que les cordes d'un instrument qui n'est pas touché ou qui ne rend aucun son; au lieu que tant que les corps sont visibles, ils sont à comparer avec des cordes qui résonnent actuellement.

Or, puisque les corps deviennent visibles dès qu'ils sont éclairés ou que les rayons du soleil ou de quelque autre corps lumineux y tombent, il faut bien que la même cause qui les éclaire excite aussi leurs moindres particules à ce mouvement de vibration propre à engendrer des rayons, et à exciter dans nos yeux le sentiment de la vision. Ce seraient donc les rayons de lumière, en tant qu'ils tombent sur un corps, qui font frémir les moindres particules pour les rendre visibles.

Cela paraît d'abord fort surprenant, attendu qu'en exposant nos mains à la plus forte lumière nous n'en ressentons pas la moindre impression. Mais il faut considérer que notre sens d'attouchement est trop grossier pour sentir ces subtiles et légères impressions; au lieu que le sens de la vue, étant incomparablement plus délicat, en est bien vivement frappé. Ce qui nous fournit une preuve incontestable que les rayons de lumière, lorsqu'ils tombent sur un corps, ont assez de force pour agir sur les moindres particules pour les faire frémir. Et c'est précisément en quoi consiste l'action dont j'ai besoin pour expliquer comment les corps, étant éclairés, sont mis en état de produire eux-mêmes des rayons par le moyen desquels ils nous deviennent visibles. Il suffit que les corps soient éclairés ou exposés à une autre lumière, pour que leurs moindres particules en soient agitées, et mises par là en état d'engendrer elles-mêmes des rayons qui nous les rendent visibles.

La belle harmonie entre l'ouïe et la vue porte cette explication au plus haut degré de certitude. On n'a qu'à exposer un clavecin à un grand bruit, et l'on verra que non-seulement ses cordes en sont mises en vibration, mais on entendra aussi le son de chacune presque de la même manière que si elle était touchée effective-

ment. Le mécanisme de ce phénomène est aussi aisé à comprendre dès qu'on reconnaît qu'une corde agitée est capable de communiquer à l'air un semblable mouvement de vibration, qui, étant transmis à l'oreille, y excite le sentiment d'un son que cette même corde rend.

Or, de la même manière qu'une corde excite dans l'air un tel mouvement, il s'ensuit réciproquement qu'un tel mouvement dans l'air est aussi capable d'agir sur la corde et de la faire trembler. Donc, puisqu'il est certain qu'un bruit est capable de mettre en mouvement les cordes d'un clavecin pour les faire résonner, la même chose doit aussi avoir lieu dans les objets de notre vue.

Les corps colorés sont semblables aux cordes d'un clavecin, et les différentes couleurs aux sons différents par rapport au grave et à l'aigu. La lumière dont ces corps sont éclairés est analogue au bruit auquel le clavecin est exposé; et comme ce bruit agit sur les cordes, la lumière dont un corps est éclairé agira d'une manière semblable sur les moindres particules dans la surface de ce corps; et en leur faisant rendre des vibrations, il en naît des rayons tout de même que si ces particules étaient lumineuses; la lumière n'étant autre chose que le mouvement de vibration des moindres particules d'un corps communiquées à l'éther, qui les transmet ensuite jusque dans les yeux.

Après cet éclaircissement, il me semble que tous les doutes que Votre Altesse pourrait encore avoir eus sur mon système des couleurs doivent s'évanouir. Au moins je me flatte d'avoir aussi bien établi le vrai principe de toutes les couleurs différentes, qu'expliqué comment ces couleurs nous deviennent visibles par la seule lumière dont les corps sont éclairés, à moins que les doutes ne roulent sur quelque autre article que je n'ai pas touché.

13 juin 1761.

LETTRE V.

Sur les merveilles de la voix humaine.

Lorsque j'ai eu l'honneur d'expliquer à Votre Altesse la théorie des sons, je n'en ai considéré qu'une double différence : la première regardait la force des sons, où j'avais remarqué qu'un son est d'autant plus fort que les vibrations qui en sont excitées dans l'air sont violentes; de là le bruit d'un canon ou le son d'une cloche est plus fort que le son d'une corde ou d'un homme qui parle.

L'autre différence est tout à fait indépendante de celle-ci; et se

30

rapporte au grave et à l'aigu des sons, par laquelle nous disons que certains sons sont hauts et d'autres bas. Par rapport à cette différence, j'avais remarqué qu'elle dépend du nombre des vibrations qui s'achèvent dans un certain temps, comme dans une seconde; de sorte que plus ce nombre est grand, plus le son est haut ou aigu; et plus il est petit, plus le son est bas ou grave.

Votre Altesse comprend qu'un même ton peut être fort ou faible; et nous voyons aussi que le *forte* et le *piano*, dont les musiciens se servent, ne changent rien dans la nature des sons. Entre les bonnes qualités d'un clavecin, on exige que tous les sons aient à peu près la même force; et c'est toujours un grand défaut lorsque quelques-unes des cordes sont pincées avec plus de force que les autres. Or le grave et l'aigu ne se rapportent qu'aux sons simples, dont toutes les vibrations se suivent régulièrement et par intervalles égaux, et ce n'est que de ces sons, qu'on nomme simples, qu'on se sert dans la musique. Les accords qu'on y emploie sont des sons composés, ou un amas de plusieurs sons produits à la fois, où parmi les vibrations doit régner un certain ordre qui est le fondement de l'harmonie. Mais quand on ne découvre aucun ordre dans les vibrations, c'est un bruit confus dont on ne saurait dire avec quel son du clavecin il est d'accord, comme par exemple le bruit d'un canon ou d'un fusil.

Mais parmi les sons simples il y a même encore une différence très-remarquable, qui semble être échappée à l'attention des philosophes. Deux sons peuvent être également forts, et d'accord avec le même son du clavecin; et malgré cela ils peuvent être très-différents à l'oreille. Le son d'une flûte est tout à fait différent de celui d'un cor, quoique tous les deux conviennent avec le même ton du clavecin et soient également forts. C'est ainsi que chaque son tient quelque chose de l'instrument qui le rend, et on ne saurait presque dire en quoi cette qualité consiste; aussi la même corde rend-elle des sons différents à cet égard, selon qu'elle est frappée, touchée ou pincée; et Votre Altesse sait très-bien distinguer les sons des cors, des flûtes et d'autres instruments.

La plus admirable diversité s'observe dans la voix humaine, qui nous offre le plus merveilleux chef-d'œuvre du Créateur, sans parler des différentes articulations dont la parole est formée. Que Votre Altesse daigne seulement réfléchir sur les diverses voyelles que la bouche prononce ou chante tout simplement. Quand on prononce ou chante la lettre *a*, le son est tout autre que si l'on prononçait ou chantait la lettre *e*, ou *o*, ou *i*, ou *u*, ou *ai*, etc., quoiqu'on demeure au même ton. Ce n'est donc pas dans la rapidité

ou l'ordre des vibrations qu'on doit chercher la raison de cette différence; cette raison semble si cachée, que les philosophes ne l'ont pas encore pu approfondir.

Votre Altesse s'apercevra aisément que, pour prononcer ces diverses voyelles, il faut donner à la cavité de la bouche une différente conformation à laquelle notre bouche est propre, préférablement à celle de tous les animaux. Aussi voyons-nous que quelques oiseaux qui apprennent à imiter la voix humaine ne sont jamais capables de prononcer distinctement les différentes voyelles; ce n'est toujours à cet égard qu'une imitation très-imparfaite.

On trouve dans plusieurs orgues un registre qui porte le nom de *voix humaine*. Ordinairement ce ne sont que des sons qui rendent la voyelle ***ai*** ou ***æ***. Je ne doute pas qu'en y faisant quelque changement on pourrait aussi produire les sons des autres voyelles ***a***, ***e***, ***i***, ***o***, ***u***, ***ou***; mais tout cela ne suffirait pas encore pour imiter une seule parole de la voix humaine : comment y voudrait-on ajouter les lettres consonnantes, qui sont autant de modifications des voyelles? Notre bouche est si admirablement ajustée, que, quelque commun que soit cet usage, il nous est presque impossible d'en approfondir le véritable mécanisme.

Nous observons bien trois organes pour exprimer les consonnantes : les lèvres, la langue et le palais; mais le nez y concourt aussi très-essentiellement. En fermant le nez, on ne saurait prononcer les lettres *m* et *n*, on n'entend alors que *b* et *d*. Une grande preuve de la merveilleuse structure de notre bouche qui la rend propre à prononcer des paroles, est sans doute que l'adresse des hommes n'a encore pu réussir à l'imiter par quelques machines. On a bien imité le chant, mais sans aucune articulation des sons et distinction des diverses voyelles.

Ce serait sans doute une des plus importantes découvertes, que de construire une machine qui fût propre à exprimer tous les sons de nos paroles avec toutes les articulations. Si l'on réussissait jamais à exécuter une telle machine, et qu'on fût en état de lui faire prononcer toutes les paroles par le moyen de certaines touches, comme d'un orgue ou d'un clavecin, tout le monde serait avec raison surpris d'entendre qu'une machine prononçât des discours entiers, ou des sermons, qu'il serait possible d'accompagner avec la meilleure grâce. Les prédicateurs et les orateurs dont la voix n'est pas assez agréable pourraient alors jouer leurs sermons et discours sur une telle machine, tout de même que les organistes jouent les pièces de musique. La chose ne me paraît pas impossible.

15 Juin 1761.

LETTRE VI.

Précis des principaux phénomènes de l'électricité.

La matière sur laquelle je voudrais à présent entretenir Votre Altesse me fait presque peur. La variété en est surprenante, et le dénombrement des faits sert plutôt à nous éblouir qu'à nous éclairer. C'est de l'électricité dont je parle, et qui depuis quelque temps est devenue un article si important dans la physique, qu'il n'est presque plus permis à personne d'en ignorer les effets.

Je ne doute pas que Votre Altesse n'en ait déjà entendu parler très-souvent, quoique je ne sache pas si elle en a aussi vu faire les expériences. Tous les physiciens en parlent aujourd'hui avec le plus grand empressement, et on y découvre presque tous les jours de nouveaux phénomènes, dont la seule description remplirait plusieurs centaines de lettres; et peut-être ne finirais-je jamais.

Voilà l'embarras où je me trouve. Je ne voudrais pas laisser ignorer à Votre Altesse une partie si essentielle à la physique; mais je ne voudrais pas non plus l'ennuyer par une description diffuse de tous les phénomènes, qui, outre cela, ne fournirait point les éclaircissements que Votre Altesse serait en droit d'exiger sur cette matière. Je me flatte cependant d'avoir trouvé une route suivant laquelle j'espère de mettre Votre Altesse tellement au fait de cette matière embrouillée, qu'elle acquerra très-facilement une connaissance beaucoup plus parfaite que n'en ont la plupart des physiciens, qui travaillent jour et nuit à approfondir ces mystères de la nature.

Sans m'arrêter à exposer à Votre Altesse tous les différents phénomènes et effets de l'électricité, ce qui m'engagerait sans doute dans un détail aussi long qu'ennuyant, au bout duquel on ne serait pas plus avancé dans la véritable connaissance des causes qui produisent tous ces effets, je suivrai une route tout à fait opposée, et je commencerai à expliquer à Votre Altesse le véritable principe de la nature sur lequel tous ces phénomènes, quelque variés qu'ils paraissent, sont fondés, et duquel il est très-aisé de les déduire tous, sans le moindre embarras.

Pour cet effet, il suffira de remarquer, en général, qu'on excite l'électricité en frottant bien un tuyau de verre; c'est par ce moyen que le tuyau devient électrique : alors il attirera et repoussera alternativement les corps légers qu'on lui présente; et quand on lui

approche d'autres corps, on voit sortir entre eux des étincelles, lesquelles, rendues plus fortes, allument de l'esprit-de-vin et d'autres matières combustibles. Lorsqu'on touche avec le doigt ce tuyau, outre l'étincelle qui en sort, on sent une piqûre qui peut, sous de certaines circonstances, devenir si grande, qu'on en ressent une concussion par tout le corps.

Au lieu d'un tuyau de verre, on se sert aussi d'un globe de verre qu'on fait tourner autour d'un axe, comme au tour. Pendant ce mouvement on le frotte de la main, ou par le moyen d'un coussin qu'on y applique; et de cette façon le globe devient également électrique, et produit les mêmes phénomènes que le tuyau.

Outre le verre, les corps résineux, comme la cire d'Espagne et le soufre, ont aussi la même propriété de devenir électriques par le frottement. Mais ce ne sont aussi que certaines espèces de corps que le frottement est capable de rendre électriques, parmi lesquels le verre, la cire d'Espagne et le soufre sont les principaux.

Pour les autres corps, on a beau les frotter tant qu'on veut, on n'y remarquera jamais le moindre signe d'électricité. Mais quand on les approche des premiers après les avoir rendus électriques, ils en acquièrent d'abord la même propriété. Ces corps deviennent donc électriques par communication, puisque le seul attouchement, et souvent le voisinage seulement des corps électriques, les rend tels.

De là tous les corps se partagent en deux classes : la première comprend les corps qui, par le frottement, deviennent électriques, et l'autre, ceux qui le deviennent par communication, et où le frottement ne produit aucun effet. Ici, il est fort remarquable que les corps de la première classe ne reçoivent aucune électricité par communication : quand on présente à un tuyau ou à un globe de verre, fortement électrisé, d'autres verres ou d'autres corps que le frottement est capable de rendre électriques, cet attouchement ne leur communique aucune électricité. D'où la distinction de ces deux classes de corps devient d'autant plus digne d'attention, les uns étant propres à devenir électriques par le frottement, et point du tout par communication; les autres, au contraire, ne devenant électriques que par la communication, et point du tout par le frottement.

Tous les métaux appartiennent à cette dernière classe; et la communication va si loin, que quand on présente un bout d'un fil d'archal à un corps électrique, l'autre bout devient électrique, quelque long que soit ce fil; et en appliquant encore un autre fil au dernier bout du premier, l'électricité se répandra aussi par toute la lon-

gueur de cet autre fil; de sorte que par ce moyen on est en état de transmettre l'électricité aux plus grandes distances.

L'eau est pareillement une matière qui reçoit aisément l'électricité par communication. On a électrisé des étangs tout entiers; de sorte que quand on y approcha le doigt, on en a vu sortir des étincelles et on a senti une douleur.

Il est maintenant aussi hors de doute que les éclairs et le tonnerre ne sont que l'effet de l'électricité des nuages, qui sont devenus électriques par quelque cause que ce soit. Un orage nous présente en grand les mêmes phénomènes de l'électricité, que les physiciens nous montrent en petit par leurs expériences.

20 juin 1761.

LETTRE VII.

Du véritable principe de la nature sur lequel tous les phénomènes de l'électricité sont fondés.

Le précis que je viens de donner des principaux phénomènes de l'électricité aura sans doute excité la curiosité de Votre Altesse sur les forces cachées de la nature qui sont capables de produire des effets si surprenants.

La plupart des physiciens avouent là-dessus leur ignorance. Ils paraissent si éblouis de la variété infinie qu'ils découvrent tous les jours, et par les circonstances tout à fait merveilleuses qui accompagnent ces phénomènes, qu'ils perdent tout le courage d'en oser approfondir la véritable cause. Ils y reconnaissent bien une matière subtile qui en est le premier agent, et qu'ils nomment la *matière électrique;* mais ils sont si embarrassés d'en déterminer la nature et les propriétés, que cette grande partie de la physique en devient plutôt embrouillée qu'éclaircie.

Il n'y a aucun doute qu'il ne faille chercher la source de tous les phénomènes de l'électricité dans une certaine matière fluide et subtile; mais nous n'avons pas besoin d'en feindre une dans notre imagination. Cette même matière subtile qu'on nomme l'éther, et dont j'ai déjà eu l'honneur de prouver la réalité à Votre Altesse, est suffisante pour expliquer très-naturellement tous les effets étranges que nous observons dans l'électricité. J'espère mettre Votre Altesse si bien au fait de cette matière, qu'il ne restera plus aucun phénomène électrique, quelque bizarre qu'il puisse paraître, sur l'explication duquel elle puisse être embarrassée.

Il ne s'agit que de bien connaître la nature de l'éther. L'air que

nous respirons ne s'étend qu'à une certaine hauteur au-dessus de la terre; et plus on monte en haut, plus il devient subtil, et enfin il se perd entièrement. Au delà de l'air on ne saurait dire qu'il y ait un vide parfait qui occupe tout cet espace immense qui se trouve entre les corps célestes. Les rayons de lumière qui se répandent de tous les corps célestes en tout sens nous prouvent suffisamment que tous ces espaces sont remplis d'une matière subtile.

Si les rayons de lumière sont des émanations actuelles lancées des corps luisants, comme quelques philosophes l'ont soutenu, il faut bien que tous les espaces des cieux soient remplis de ces rayons, qui même les traverseraient avec la plus grande rapidité. Votre Altesse n'a qu'à se souvenir de la terrible vitesse dont les rayons du soleil viennent jusqu'à nous. Dans cette hypothèse, non-seulement il n'y aurait point de vide, mais tous les espaces seraient remplis d'une matière subtile qui se trouverait dans la plus terrible agitation.

Mais je crois avoir suffisamment prouvé que les rayons de lumière ne sont pas des émanations actuelles lancées des corps lumineux, aussi peu que le son est une émanation des corps sonores. Il est plutôt certain que les rayons de lumière ne sont autre chose qu'un ébranlement ou agitation dans une matière subtile, de même que le son qui consiste dans une semblable agitation excitée dans l'air. Et, de la même manière que le son est excité et transmis par l'air, la lumière est excitée et transmise par une matière beaucoup plus subtile, qu'on nomme l'éther, et qui remplit par conséquent tous les espaces entre les corps célestes.

L'éther est donc un milieu propre à exciter des rayons de lumière, et c'est cette même qualité qui nous met en état d'en connaître mieux la nature et les propriétés. Nous n'avons qu'à réfléchir sur les propriétés de l'air, qui le rend propre à exciter et transmettre le son. La principale cause est dans son élasticité ou dans son ressort. Votre Altesse sait que l'air a une force de se répandre en tout sens, et qu'il se répand actuellement dès que les obstacles sont ôtés. L'air ne se trouve en repos qu'autant que son élasticité est partout la même; dès qu'elle serait plus grande dans un endroit qu'en d'autres, l'air s'y répandrait actuellement. L'expérience nous fait voir aussi que plus on comprime l'air, plus son élasticité en est augmentée : c'est de là que vient la force des fusils à vent, où l'air, étant comprimé avec beaucoup de force, est capable de pousser la balle par le canon avec une grande vitesse. Un effet contraire arrive lorsqu'on raréfie l'air : son élasticité devient d'autant plus petite, qu'il est plus raréfié ou répandu dans un plus grand espace.

Maintenant, c'est de l'élasticité de l'air relative à sa densité que dépend la vitesse du son, qui parcourt un espace d'environ mille pieds dans une seconde. Si l'élasticité de l'air était plus grande, la densité demeurant la même, la vitesse du son serait plus grande; et la même chose arriverait si l'air était plus rare ou moins dense qu'il n'est, et que son élasticité fût la même. En général, plus un tel milieu, semblable à l'air, est élastique et moins dense en même temps, plus aussi rapidement seront transmises les agitations qui y seront excitées. Donc, puisque la lumière est transmise tant de mille fois plus vite que le son, il faut bien que l'éther, c'est-à-dire ce milieu dont les ébranlements constituent la lumière, soit plusieurs mille fois plus élastique que l'air, et en même temps aussi plusieurs mille fois plus rare ou plus subtil, l'un et l'autre contribuant également à accélérer la propagation de la lumière.

De là Votre Altesse comprend la raison pourquoi on suppose l'éther plusieurs mille fois plus élastique et en même temps plusieurs mille fois plus subtil que l'air; sa nature étant d'ailleurs semblable à celle de l'air, en tant qu'il est aussi une matière fluide, et susceptible tant de compression que de raréfaction. C'est cette qualité qui nous conduira à l'explication de tous les phénomènes de l'électricité.

23 juin 1761.

LETTRE VIII.

Continuation, et en particulier sur la différente nature des corps par rapport à l'électricité.

L'éther étant une matière subtile et semblable à l'air, mais plusieurs mille fois plus rare et plus élastique, il ne saurait être en repos, à moins que son élasticité, c'est-à-dire sa force de se répandre, ne soit partout la même.

Dès que l'éther sera dans un endroit plus élastique, ce qui arrive lorsqu'il y est plus comprimé qu'aux environs, il s'y répandra actuellement en comprimant celui des environs, jusqu'à ce qu'il soit parvenu partout au même degré d'élasticité. C'est alors qu'on dit qu'il est en équilibre, l'équilibre n'étant autre chose que l'état de repos, lorsque les forces qui tendent à le troubler se contre-balancent les unes les autres.

Donc, quand l'éther n'est pas en équilibre, il y doit arriver la même chose que dans l'air, lorsque son équilibre est troublé; c'est-à-dire qu'il doit se répandre de l'endroit où son élasticité est plus

grande, vers celui où elle est plus petite : mais à cause de sa plus grande élasticité et subtilité, ce mouvement doit être beaucoup plus rapide que dans l'air. Le défaut d'équilibre dans l'air cause un vent par lequel l'air se transporte d'un endroit à l'autre : ce sera donc aussi une espèce de vent quand l'équilibre de l'éther sera troublé; mais un vent incomparablement plus subtil, par lequel l'éther passe des endroits où il était plus comprimé et plus élastique, à ceux où l'élasticité sera plus petite.

Cela posé, j'ose avancer que tous les phénomènes de l'électricité sont une suite naturelle du défaut de l'équilibre dans l'éther, de sorte que, partout où l'équilibre de l'éther est troublé, les phénomènes de l'électricité en doivent résulter; ou bien, je dis que l'électricité n'est autre chose qu'un dérangement dans l'équilibre de l'éther [1].

Pour développer tous les effets de l'électricité, il faut avoir égard à la manière dont l'éther est mêlé et enveloppé avec tous les corps qui nous environnent. Ici-bas, l'éther ne se trouve que dans les petits interstices que les particules de l'air et tous les autres corps laissent entre eux. Rien n'est plus naturel que l'éther, à cause de son extrême subtilité et de son élasticité, s'insinue dans les plus petits pores de tous les corps où l'air ne saurait entrer, et même dans les pores de l'air. Votre Altesse se souviendra que tous les corps, quelque solides qu'ils paraissent, sont remplis de tels pores; et plusieurs expériences prouvent incontestablement que dans tous les corps les pores occupent beaucoup plus d'espace que les parties solides; enfin, moins un corps est pesant, plus il doit être rempli de ces pores qui ne contiennent que de l'éther : d'où il est clair que, quoique l'éther soit tellement parsemé dans les plus petits pores des corps, il doit pourtant se trouver en très-grande abondance aux environs de la terre.

Votre Altesse comprendra fort aisément de là qu'il doit y avoir une très-grande différence parmi ces pores, tant par rapport à leur grandeur qu'à leur figure, selon la différente nature des corps, puisque la diversité des corps dépend probablement de la diversité de leurs pores. Donc, il y aura sans doute des pores plus fermés, et qui ont moins de communication avec d'autres pores; de sorte que l'éther qui y est enfermé y est aussi plus engagé, et ne s'en dégage que très-difficilement, quoique son élasticité soit beaucoup plus grande que celle de l'éther qui se trouve dans les pores voisins. Il y aura aussi au contraire des pores assez ouverts et d'une libre

1. L'hypothèse d'un seul fluide, soutenue par Euler et par Franklin, a encore des partisans; toutefois, celle de deux fluides est plus généralement adoptée.

communication avec les pores voisins : alors il est clair que l'éther qui se trouve dans ces pores ne s'y tient pas si fermement que dans le cas précédent; et s'il est plus ou moins élastique que dans les pores voisins, il se mettra bientôt en équilibre.

Pour distinguer ces deux espèces de pores, je nommerai les premiers *fermés*, et les autres *ouverts*. La plupart des corps seront donc doués de pores d'une espèce moyenne, qu'il suffira de distinguer par les mots de *plus* ou *moins fermés*, et de *plus* ou *moins ouverts*.

Cela posé, je remarque d'abord que, si tous les corps avaient des pores parfaitement fermés, il ne serait pas possible de changer l'élasticité de l'éther qui y est contenu; et quand même l'éther de quelques-uns de ces pores aurait acquis, par quelque cause que ce soit, un plus haut degré d'élasticité que dans les autres, puisque toute communication lui est défendue, il demeurerait toujours dans cet état, et ne se remettrait jamais en équilibre. Dans ce cas donc aucun changement n'arriverait dans les corps; tout resterait dans le même état que si l'éther était en équilibre, et aucun phénomène de l'électricité ne pourrait avoir lieu.

La même chose arriverait si tous les pores de tous les corps étaient parfaitement ouverts; car alors, quand même dans quelques pores l'éther se trouverait plus ou moins élastique que dans les autres, à cause de la communication entièrement libre, l'équilibre se rétablirait dans un instant, et aussi vite, que nous ne serions pas en état d'y remarquer le moindre changement. Par la même raison, il serait même impossible de troubler l'équilibre de l'éther contenu dans de tels pores; à chaque instant que l'équilibre serait troublé, il serait aussitôt rétabli, et on n'y saurait découvrir aucun signe d'électricité.

Mais comme les pores de tous les corps ne sont ni parfaitement fermés ni parfaitement ouverts, il sera toujours possible de troubler l'équilibre de l'éther contenu dans leurs pores; et quand ceci arrive, par quelque cause que cela soit, l'équilibre ne manquera non plus de se rétablir. Or, il faudra pour ce rétablissement quelque temps, pendant lequel certains phénomènes doivent être produits; et Votre Altesse verra bientôt avec une grande satisfaction que ces phénomènes sont précisément les mêmes que ceux que les expériences électriques nous découvrent. Elle conviendra, pour lors, que les principes sur lesquels je vais établir la théorie de l'électricité sont très-simples et parfaitement constatés.

27 juin 1761.

LETTRE IX.

Sur le même sujet.

J'espère à présent avoir surmonté les plus grandes difficultés qu'on rencontre dans la théorie de l'électricité. Votre Altesse n'a qu'à s'en tenir à l'idée de l'éther que je viens d'établir, et qui est cette matière extrêmement subtile et élastique répandue non-seulement par tous les espaces vides du monde, mais aussi dans les moindres pores de tous les corps, dans lesquels il est tantôt plus, tantôt moins engagé, selon que ces pores sont plus ou moins fermés. Cette considération nous conduit à deux espèces principales de corps, dont les uns ont les pores plus fermés et les autres plus ouverts.

Cela posé, s'il arrive que l'éther renfermé dans les pores des corps n'a pas partout le même degré d'élasticité, de sorte que dans quelques-uns il soit plus ou moins comprimé que dans les autres, il fera des efforts pour se mettre en équilibre; et c'est précisément de là que naissent les phénomènes de l'électricité, qui par conséquent seront d'autant plus variés, que les pores des corps où l'éther est engagé seront plus différents, et qu'ils lui accorderont une plus ou moins libre communication avec les autres.

Cette différence, à l'égard des pores des corps, répond parfaitement bien à celle que les premiers phénomènes de l'électricité nous ont fait remarquer parmi les corps, par laquelle les uns deviennent aisément électriques par la seule communication, ou dans le voisinage d'un corps électrique, pendant que d'autres n'en souffrent presque aucun changement. De là Votre Altesse jugera d'abord que les corps qui reçoivent si aisément l'électricité par la seule communication sont ceux qui ont leurs pores ouverts; et que les autres, qui sont presque insensibles à l'électricité, doivent avoir leurs pores fermés, ou entièrement, ou pour la plus grande partie.

C'est donc des phénomènes mêmes de l'électricité que nous pourrons conclure quels sont les corps qui ont leurs pores fermés ou ouverts; sur quoi je puis fournir à Votre Altesse les éclaircissements suivants :

Premièrement, l'air commun que nous respirons a ses pores presque entièrement fermés; de sorte que l'éther qui y est enfermé ne saurait en sortir que fort difficilement, et qu'il trouve autant de difficulté pour y pénétrer. Ainsi, quoique l'éther répandu par l'air ne soit pas en équilibre avec celui qui se trouve en d'autres corps;

y étant plus ou moins comprimé, le rétablissement en équilibre n'arrive que très-difficilement. Or cela doit s'entendre de l'air sec, l'humidité étant d'une nature toute différente, comme je le remarquerai bientôt.

Ensuite, dans cette même classe des corps à pores fermés, il faut ranger le verre, la poix, les corps résineux, la cire d'Espagne, le soufre, et en particulier la soie. Toutes ces matières ont leurs pores si bouchés, que l'éther ne saurait y entrer ni en sortir que fort difficilement.

L'autre classe principale des corps dont les pores sont ouverts contient premièrement l'eau et les autres liqueurs dont la nature est tout à fait contraire à celle de l'air; ce qui est la raison pour laquelle l'air, lorsqu'il devient humide, change tout à fait de nature à l'égard de l'électricité, puisqu'alors l'éther peut y entrer et en sortir presque sans aucune difficulté. A cette même classe des corps à pores ouverts il faut rapporter tous les métaux et les corps des animaux.

Pour les autres corps, comme le bois, plusieurs pierres et terres, ils tiennent une nature moyenne entre les deux espèces principales que je viens de rapporter; et le passage de l'éther, tant pour y entrer que pour en sortir, est plus ou moins facile, selon la propre nature de chaque espèce.

Après ces éclaircissements sur la diverse nature des corps à l'égard de l'éther qui y est engagé, Votre Altesse verra avec bien de la satisfaction comment tous les phénomènes de l'électricité, qu'on regarde comme des prodiges, en découlent très-naturellement.

Tout dépend de l'état de l'éther répandu ou dispersé dans les pores de tous les corps, en tant qu'il n'a pas partout le même degré d'élasticité, ou qu'il est plus ou moins comprimé en quelques corps qu'en d'autres; car alors l'éther, n'étant pas en équilibre, fera des efforts pour s'y remettre. Des endroits où il est comprimé, il tâchera de se dégager autant que l'ouverture des pores le permet, pour se répandre et entrer dans les pores où la compression est moindre; et cela durera jusqu'à ce qu'il soit remis partout au même degré de compression et d'élasticité, pour y demeurer en équilibre.

Ici je remarque d'abord que, lorsque l'éther passe d'un corps où il était comprimé, dans un autre où la compression était moindre, il rencontrera dans l'air, entre les deux corps, de grands obstacles, à cause des pores de l'air, presque tout à fait fermés. Cependant il percera par l'air, comme par une matière liquide et très-déliée,

pourvu que sa force ne soit pas trop petite, ou l'intervalle entre les corps trop grand. Or, ce passage de l'éther étant fort gêné et presque empêché par les pores de l'air, il lui arrivera la même chose qu'à l'air lorsqu'on le force de passer bien vite par de petits trous : on entend alors un sifflement, qui est une marque que l'air y est mis dans un mouvement d'agitation qui cause ce son.

Il est donc très-naturel que l'éther, lorsqu'il est forcé de pénétrer à travers les pores de l'air, y doit aussi recevoir une espèce d'agitation. Or Votre Altesse se souviendra que, comme une agitation dans l'air produit un son, ainsi une semblable agitation dans l'éther est la cause de la lumière : donc, toutes les fois que l'éther échappe d'un corps pour passer dans un autre, son passage par l'air doit être accompagné d'une lumière qui paraît tantôt sous la forme d'une étincelle, tantôt sous celle d'un éclair, lorsque la quantité est assez grande.

Voilà donc la plus remarquable circonstance qui accompagne la plupart des phénomènes électriques qui s'explique avec évidence par nos principes. Mais il sera bon d'entrer dans un plus grand détail, ce qui me fournira une matière très-agréable pour quelques-unes des lettres suivantes.

30 juin 1761.

LETTRE IX.

De l'électricité positive, et de l'électricité négative. Explication du phénomène de l'attraction.

De ce que je viens d'exposer, Votre Altesse comprendra facilement qu'un corps doit devenir électrique lorsque l'éther qui est contenu dans ses pores devient ou plus ou moins élastique que celui qui se trouve dans les corps environnants; ce qui arrive lorsqu'une grande partie d'éther a été introduite dans les pores de ce corps, ou lorsqu'une partie de l'éther qui y est contenue en est chassée. Dans le premier cas, l'éther y devient plus comprimé, et par conséquent plus élastique; dans l'autre cas, il y devient plus rare et perd aussi de son élasticité. Dans l'un et l'autre cas, il n'est plus en équilibre avec l'éther de dehors; et de ce qu'il fait des efforts pour se remettre en équilibre, c'est ce qui produit tous les phénomènes de l'électricité.

De là Votre Altesse voit qu'un corps peut devenir électrique en deux manières différentes, selon que l'éther contenu dans ses pores

devient plus ou moins élastique que celui de dehors; d'où une double électricité peut avoir lieu : l'une, où l'éther se trouve plus élastique ou plus comprimé, est nommée l'*électricité en plus*, ou bien l'*électricité positive;* l'autre, où l'éther est moins élastique ou plus raréfié, est nommée l'*électricité en moins* ou *électricité négative.* Les phénomènes de l'une et de l'autre sont à peu près les mêmes ; on n'y remarque qu'une légère différence, dont je parlerai dans la suite.

Naturellement les corps ne sont pas électriques, puisque l'élasticité de l'éther tend à l'entretenir en équilibre : ce sont toujours des opérations violentes qui troublent l'équilibre de l'éther et rendent les corps électriques; et il faut que ces opérations agissent sur des corps à pores fermés, afin que, l'équilibre étant une fois dérangé, il ne se rétablisse pas au même instant. Aussi voyons-nous qu'on se sert du verre, de l'ambre, de la cire d'Espagne ou du soufre pour y exciter l'électricité.

L'opération la plus facile et la plus connue déjà depuis longtemps, est de frotter un bâton de cire d'Espagne avec un morceau de drap de laine; après quoi l'on voit que cette cire d'Espagne attire de petits morceaux de papier et d'autres corps légers. L'ambre, étant frotté, produit les mêmes phénomènes; et puisque les anciens avaient donné à cette matière le nom d'*electrum*, c'est de là que cette force excitée par le frottement est encore nommée *électricité :* les plus anciens physiciens ayant déjà observé que cette matière, étant frottée, acquiert une force d'attirer à soi les corps légers.

Cette effet provient sans doute de ce que l'équilibre de l'éther est troublé par le frottement. Il est donc juste que je commence par expliquer cette expérience si commune. L'ambre ou la cire d'Espagne a ses pores assez fermés; or, ceux de la laine dont on frotte sont assez ouverts : pendant le frottement, les pores de l'un et de l'autre sont comprimés, et par là l'éther qui y est contenu est réduit à un plus haut degré d'élasticité. Selon que les pores de la laine sont susceptibles d'une plus ou moins grande compression que ceux de l'ambre ou de la cire d'Espagne, il arrivera ou qu'une portion d'éther passe de la laine dans l'ambre, ou réciproquement de l'ambre dans la laine. Dans le premier cas l'ambre devient électrique en plus, et dans l'autre en moins; et, puisque ses pores sont fermés, cet état se conservera pendant quelque temps, au lieu que la laine, quoiqu'il y soit arrivé un semblable changement, se remet d'abord en son état naturel.

Par les expériences qu'une telle cire d'Espagne électrique four-

nit, on conclut que son électricité est en moins, de sorte qu'une partie de son éther ait passé pendant le frottement dans la laine. De là Votre Altesse comprend comment un bâton de cire d'Espagne est dépouillé d'une partie de son éther par le frottement dans la laine, et qu'il doit devenir électrique par ce moyen. Voyons maintenant quels effets doivent en résulter, et s'ils conviennent avec ceux qu'on observe actuellement.

Soit AB (*fig* 91) un bâton de cire d'Espagne, auquel on a enlevé par le frottement une partie de l'éther contenu dans ses pores; l'éther qui reste étant moins comprimé aura donc moins de force pour se répandre, ou bien il aura une moindre élasticité que l'éther qui se trouve dans les autres corps et dans l'air qui l'environne : mais puisque les pores de l'air sont encore plus fermés que ceux de la cire d'Espagne, cela empêche que l'éther contenu dans l'air ne passe dans la cire d'Espagne pour établir l'équilibre; du moins cela n'arrivera qu'après un temps assez considérable.

Fig. 91.

Qu'on présente maintenant à ce bâton un petit corps très-léger C, qui ait ses pores ouverts; l'éther qui y est contenu, trouvant une issue libre, puisqu'il a plus de force à se répandre que ne lui oppose l'éther enfermé dans le bâton en *c*, s'échappera actuellement, et se fraiera un chemin au travers de l'air, pourvu que la distance ne soit pas trop grande, et entrera dans le bâton. Ce passage ne se fera pas pourtant sans beaucoup de difficulté, puisque les pores de la cire d'Espagne n'ont qu'une très-petite ouverture; et par conséquent il ne sera pas accompagné d'une véhémence capable de mettre l'éther dans un mouvement d'agitation, pour exciter une lumière sensible. On ne verra qu'une faible lueur dans l'obscurité, si l'électricité est assez forte.

Mais on remarquera un autre phénomène qui n'est pas moins surprenant : c'est que le petit corps C sautera vers ce bâton, comme s'il y était attiré. Pour en expliquer la cause, Votre Altesse n'a qu'à considérer que le petit corps C, dans son état naturel, est de tous côtés également pressé par l'air qui l'environne; mais puisque, dans l'état où il se trouve à présent, l'éther en échappe et perce par l'air selon la direction C*c*, il est évident que l'air de ce côté pressera moins sur le petit corps qu'ailleurs, et que la pression dont il est poussé vers C*c* l'emportera sur les autres pressions, et le poussera actuellement vers le bâton de la même manière que s'il en était attiré.

C'est ainsi qu'on explique d'une manière intelligible les attractions qu'on observe dans les phénomènes de l'électricité. Dans cette expérience, l'électricité est trop faible pour produire des effets plus surprenants. J'aurai l'honneur de détailler ceux-ci plus amplement dans la suite.

4 juillet 1761.

LETTRE XI.

Sur le même sujet.

Après ces faibles commencements dans les phénomènes électriques, ce n'est que depuis peu de temps qu'on les a poussés plus loin. D'abord on s'est servi d'un tuyau de verre semblable à ceux dont on fait les baromètres, mais d'un plus grand diamètre, qu'on a frotté avec la main nue ou avec un morceau de drap de laine, et on s'est aperçu de phénomènes électriques plus éclatants.

Or, en frottant de cette sorte un tuyau de verre, Votre Altesse comprend aisément que, par la compression des pores du verre et du corps frottant, une partie de l'éther doit passer ou de la main dans le verre, ou réciproquement du verre dans la main, selon que les pores de l'un ou de l'autre sont plus susceptibles de compression dans le frottement. Après cette opération l'éther dans la main se remet aisément en équilibre, puisque ses pores sont ouverts; mais, parce que les pores du verre sont assez fermés, l'éther s'y conserve dans son état, soit que le verre en soit surchargé ou dépouillé, et par conséquent il sera électrique et produira des phénomènes semblables à ceux de la cire d'Espagne, mais beaucoup plus forts sans doute, puisque son électricité est portée à un plus haut degré, soit à cause du plus grand diamètre du tuyau, soit à cause de la nature même du verre.

Les expériences nous laissent conclure que par ce moyen le tuyau de verre devient surchargé d'éther, pendant que la cire d'Espagne en est dépouillée : cependant les phénomènes en sont à peu près les mêmes.

D'abord il faut observer que le tuyau de verre conserve son électricité tant qu'il n'est entouré que de l'air, à cause que les pores tant du verre que de l'air sont trop fermés pour donner à l'éther une communication assez libre, et dépouiller le verre de son éther superflu qui en augmente l'élasticité. Mais pour cet effet il faut que l'air soit bien sec, puisque ce n'est que dans cet état que

ses pores sont bien fermés ; dès que l'air est humide ou chargé de vapeurs, les expériences ne réussissent pas quelque peine qu'on se donne à frotter le verre. La cause en est très-évidente : car puisque l'eau qui rend l'air humide a ses pores très-ouverts, ils reçoivent à chaque instant ce qu'il y a de trop d'éther dans le verre ; de sorte que le verre reste dans son état naturel. Ce n'est donc que dans un air bien sec que ces expériences réussissent : voyons maintenant quels phénomènes doit alors produire un tel tuyau de verre après avoir été frotté.

D'abord il est clair qu'en lui présentant un petit corps léger C à pores ouverts (*fig.* 92), comme des feuilles d'or, l'éther trop élastique du tuyau aux endroits les plus proches DE ne fera pas des efforts inutiles pour se décharger et passer dans les pores du corps C. Il se fraiera un chemin au travers de l'air, pourvu que la distance ne soit pas trop grande ; et dans l'obscurité, on verra même une lumière entre le tuyau et le corps, dont la cause est l'agitation excitée dans l'éther, qui passe avec peine du tuyau dans le corps. Quand au lieu du corps C on y tient le doigt, on y sent même une piqûre que cause l'entrée rapide de l'éther ; et quand on y tient le visage à quelque distance, on sent une certaine agitation dans l'air qui est causée par le passage de l'éther. Quelquefois on entend aussi un craquement léger, qui est sans doute causé par une agitation de l'air que l'éther traverse si rapidement.

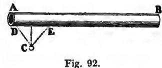


Fig. 92.

Votre Altesse n'a qu'à se souvenir qu'une agitation dans l'air cause toujours un son, et un semblable mouvement dans l'éther une lumière, et la raison de ces phénomènes deviendra assez claire.

Mais remettons le petit corps léger C dans le voisinage de notre tuyau électrique ; et tant que l'éther s'échappe du tuyau pour entrer dans les pores du corps C, l'air en sera chassé en partie, et ne pressera pas par conséquent de ce côté aussi fort sur le corps que tout autour ; de là arrivera, comme dans le cas précédent, que le corps C sera poussé vers le tuyau ; et puisqu'il est léger, il s'en approchera en effet. D'où l'on voit que cette attraction apparente a également lieu, soit que l'éther du tuyau soit trop élastique ou trop peu, ou bien soit que l'électricité du tuyau soit positive ou négative. Dans l'un et dans l'autre cas le passage de l'éther arrête l'air, et l'empêche d'agir par sa pression.

Mais pendant que ce petit corps C approche du tuyau, le pas-

sage de l'éther devient plus fort, et le corps C sera bientôt aussi surchargé d'éther que le tuyau même. C'est alors que l'action de l'éther, qui ne provenait que de son élasticité, cesse entièrement, et que le corps C soutiendra de toutes parts une égale pression. L'attraction cessera, et le corps C s'éloignera du tuyau, puisqu'il n'y a plus rien qui l'y arrête et que sa propre gravité le met en mouvement. Or, dès qu'il s'éloigne puisque ses pores sont ouverts, son éther superflu échappe bientôt en l'air et il retourne dans son état naturel. Alors le tuyau agira de nouveau comme au commencement, et on le verra de nouveau s'approcher du tuyau ; de sorte qu'il paraîtra alternativement être attiré et repoussé du tuyau : ce jeu durera jusqu'à ce que le tuyau ait perdu son électricité. Car, puisqu'à chaque attraction il se décharge de quelque portion de son éther superflu, outre qu'il s'en échappe insensiblement dans l'air quelque chose, le tuyau sera bientôt rétabli dans son état naturel et dans son équilibre, et cela d'autant plus promptement que le tuyau est petit et le corps C léger ; ce sera alors que tous les phénomènes de l'électricité finiront.

7 juillet 1761.

LETTRE XII.

De l'atmosphère électrique.

J'aurais presque oublié de parler d'une circonstance très-essentielle qui accompagne tous les corps électriques tant en plus qu'en moins, et qui nous fournit de très-grands éclaircissements dans l'explication des phénomènes de l'électricité.

Quoiqu'il soit bien vrai que les pores de l'air sont très-fermés et qu'ils ne permettent presque aucune communication à l'éther qui est enfermé avec celui des environs, il souffre pourtant quelque changement dans le voisinage d'un corps électrique.

Considérons d'abord un corps électrique en moins, comme un bâton de cire d'Espagne AB (*fig.* 93), qui, par le frottement, ait été dépouillé d'une partie de l'éther qui était contenu dans ses pores, de sorte que l'éther qui y est enfermé ait une moindre élasticité que celui des autres corps, et par conséquent aussi de l'air qui environne la cire. Il arrivera nécessairement de là que l'éther contenu dans les



Fig. 93.

particules de l'air qui touchent immédiatement la cire, comme en *m*, ayant une plus grande élasticité, se déchargera tant soit peu dans les pores de la cire, et perdra tant soit peu de son élasticité. De la même manière, les particules d'air plus éloignées, comme en *n*, laisseront aussi échapper quelque portion de leur éther dans les plus proches de *m;* et ainsi de suite jusqu'à une certaine distance où l'air ne souffrira plus aucun changement. De cette manière, l'air autour du bâton de cire d'Espagne jusqu'à une certaine distance sera dépouillé d'une partie de son éther et deviendra électrique lui-même.

Cette portion de l'air qui participe de cette sorte à l'électricité du bâton de cire, est nommée l'*atmosphère électrique;* et Votre Altesse comprendra, de ce que je viens de rapporter, que tout corps électrique doit être entouré d'une atmosphère. Car si le corps est électrique en plus ou qu'il ait une électricité positive, de manière que l'éther s'y trouve en trop grande abondance, il y sera plus comprimé et par conséquent plus élastique, comme cela arrive dans un tuyau de verre lorsqu'il est frotté; alors cet éther plus élastique se décharge tant soit peu dans les particules de l'air qui le touchent immédiatement, et ensuite de là dans les particules plus éloignées jusqu'à une certaine distance: ce qui formera encore une atmosphère électrique autour du tuyau, où l'éther sera plus élastique qu'à l'ordinaire.

Il est évident que cette atmosphère qui environne les corps électriques en doit diminuer peu à peu l'électricité, puisque dans le premier cas il se crible presque continuellement quelque peu d'éther qui entre de l'air environnant dans le corps électrique, et qui dans l'autre cas sort de celui-ci pour entrer dans l'air. C'est aussi la raison pourquoi les corps électriques perdent enfin leur électricité, et cela arrivera d'autant plus vite que les pores de l'air sont plus ouverts. Dans un air humide, où les pores sont très-ouverts, toute électricité s'éteint presque dans un instant, mais dans un air fort sec elle se conserve assez long-temps.

Cette atmosphère électrique s'aperçoit aussi sensiblement: lorsqu'on approche son visage d'un corps électrisé, on sent comme une toile d'araignée causée par le sentiment du passage léger de l'éther, qui passe ou du visage dans le corps électrique, ou réciproquement de celui-ci dans le visage, selon que l'électricité est *en moins* ou *en plus*, ou selon qu'elle est négative ou positive, comme on a coutume de s'exprimer.

L'atmosphère électrique sert aussi à expliquer plus clairement cette alternative attraction et répulsion des corps légers qui se trou-

vent autour du corps électrique dont j'ai eu l'honneur de parler dans ma lettre précédente, où Votre Altesse aura remarqué que l'explication que j'y ai donnée de la répulsion cloche, mais l'atmosphère électrique suppléera parfaitement à ce défaut.

Que AB (*fig.* 94) représente un tuyau de verre électrique et surchargé d'éther, et que C soit un petit corps léger à pores assez ouverts, dans son état naturel. Que l'atmosphère s'étende jusqu'à la distance DE. Maintenant, puisque les environs de C contiennent déjà un éther plus élastique, celui-ci se déchargera dans les pores du corps C, et sur-le-champ il sortira du tuyau un nouvel éther qui passera de D en C : et c'est principalement l'atmosphère qui aide à ce passage; car si l'éther contenu dans l'air n'avait aucune communication avec celui du tuyau, le corpuscule C ne se ressentirait point du voisinage du tuyau; mais pendant que l'éther passe de D en C, la pression de l'air entre C et D sera diminuée, et le corpuscule C ne sera plus pressé tout autour également; il sera donc poussé vers D comme s'il y était attiré. Or, à mesure qu'il y approche, il sera aussi de plus en plus surchargé d'éther, et deviendra électrique comme le tuyau même, et par conséquent l'électricité du tuyau n'agira plus sur lui.

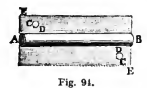


Fig. 94.

Mais puisqu'à présent le corpuscule étant parvenu en D contient trop d'éther, et plus que l'air en E, il s'efforcera d'en échapper pour se rendre en E. L'atmosphère ou la compression de l'éther, qui va en diminuant de D jusqu'à E, facilitera ce passage, et l'éther superflu coulera effectivement du corpuscule vers E. Par ce passage la pression de l'air sur le corpuscule sera de ce côté-là plus petite que partout ailleurs, et par conséquent le corpuscule sera poussé vers D, comme si le tuyau le poussait. Mais dès qu'il parvient en E, il sera déchargé de son éther superflu et rétabli dans son état naturel, d'où il sera de nouveau attiré vers le tuyau comme au commencement; et ayant atteint le tuyau, il en sera repoussé par la même raison que je viens d'expliquer.

C'est donc principalement l'atmosphère électrique qui produit ces phénomènes singuliers, quand nous voyons que les corps électrisés attirent et repoussent alternativement les petits corps légers, comme de petits morceaux de papier, ou des parcelles de métal, avec lesquelles cette expérience réussit le mieux, puisque ces matières ont leurs pores très-ouverts.

Au reste, Votre Altesse verra aisément que ce que je viens de

dire sur l'électricité en plus doit également avoir lieu dans l'électricité en moins : on n'a qu'à renverser le passage de l'éther, par lequel la pression naturelle de l'air doit toujours être diminuée.

11 juillet 1761.

LETTRE XIII.

Sur la communication de l'électricité à une barre de fer par le moyen d'un globe de verre.

Après les expériences faites avec des tuyaux de verre, on est parvenu à porter l'électricité à un plus haut degré de force. Au lieu d'un tuyau, on s'est servi d'un globe ou d'une boule de verre qu'on fait tourner bien vite autour d'un essieu; et en y appliquant la main ou un coussin fait d'une matière qui a des pores ouverts, on produit un frottement qui rend la boule tout entière électrique.

La *fig.* 95 représente cette boule, qu'on peut faire tourner autour des essieux A et B (*fig.* 95) par un mécanisme semblable à celui dont se servent les tourneurs. C est le coussin appliqué assez fortement contre la boule, auquel elle se frotte en tournant. Dans ce frottement les pores du coussin étant comprimés plus que ceux du verre, l'éther qui y est contenu en est chassé, et forcé de s'insinuer dans les pores du verre, où il s'accumule de plus en plus, puisque les pores ouverts du coussin en fournissent toujours de nouveau, y étant continuellement suppléé par l'éther des corps environnants; de sorte que par ce moyen la boule peut être surchargée d'éther à un plus haut degré que les tuyaux de verre. Aussi les effets de l'électricité y sont plus considérables, mais de la même nature que ceux que je viens de rapporter, en attirant et repoussant alternativement des corps légers, et les étincelles qu'on y voit en y touchant sont beaucoup plus vives.

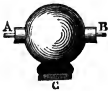


Fig. 95.

Mais on ne s'est pas contenté de cette espèce d'expériences que je viens de transcrire à Votre Altesse; on a employé cette boule électrisée à nous découvrir des phénomènes beaucoup plus surprenants.

Après avoir construit la machine pour faire tourner la boule autour de ses essieux A et B, on suspend une barre de fer FG

(*fig.* 96), au-dessus ou à côté de la boule, et on dirige vers cette boule une chaîne de fer ou d'autre métal ED, terminée en D à des fils métalliques qui touchent la boule. Il suffit que cette chaîne soit attachée à la barre de fer d'une manière quelconque, ou qu'elle la touche seulement. Alors, quand on fait tourner la boule qui frotte contre le coussin en C, afin que l'éther dans le verre devienne surchargé et plus élastique, il en passera aisément dans les fils D, lesquels, étant d'une matière métallique, ont leurs pores très-ouverts; et de là il se déchargera par la chaîne DE dans la barre de fer FG. Ainsi, par le moyen de la boule, l'éther exprimé du coussin C s'accumulera successivement dans la barre de fer FG, qui devient par conséquent aussi électrique, et son électricité s'accroît à mesure qu'on continue à tourner la boule.

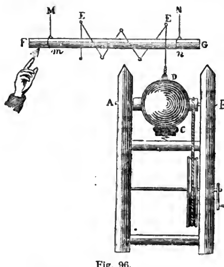


Fig. 96.

Si cette barre communiquait encore avec d'autres corps à pores ouverts, elle y déchargerait bientôt le surplus de son éther, et perdrait par là son électricité; l'éther puisé du coussin serait dispersé par tous les corps en liaison entre eux, et sa plus grande compression ne serait plus sensible. Pour prévenir cet accident, qui ferait échouer tous les phénomènes de l'électricité, il faut nécessairement appuyer ou suspendre la barre par des soutiens d'une matière qui ait ses pores bien fermés : de cette nature sont le verre, la poix, le soufre, la cire d'Espagne et la soie. Il sera donc bon d'appuyer la barre sur des soutiens de verre ou de poix, ou bien de la suspendre par des cordes faites de soie. C'est donc par ce moyen que la barre est mise à l'abri de perdre son éther accumulé, puisque de tous côtés elle n'est environnée que par des corps à pores bouchés, qui n'accordent presque aucune entrée à l'éther de la barre. Dans cet état on dit que la barre est *isolée*, ou dégagée de tout contact qui lui pourrait dérober son électricité. Cepen-

dant Votre Altesse jugera aisément qu'il n'est pas possible d'empêcher toute perte; c'est pourquoi l'électricité d'une telle barre diminue successivement, à moins qu'on ne continue à l'entretenir par le mouvement de la boule.

De cette manière on communique l'électricité à une barre de fer, qu'on ne saurait jamais rendre électrique, quelque peine qu'on se donnât à la frotter, et cela à cause de ses pores ouverts. Et c'est aussi par cette même raison qu'une telle barre, étant devenue électrique par communication, produit des phénomènes beaucoup plus surprenants. Quand on présente à la barre un doigt ou une autre partie du corps, on voit sortir de la barre une étincelle très-brillante en forme d'une aigrette, laquelle entrant dans le corps y cause une piqûre sensible et quelquefois douloureuse. Je me souviens y avoir présenté une fois la tête couverte d'une perruque et d'un chapeau; mais le coup perça si vivement à travers, que j'en ai senti la douleur encore le lendemain.

Ces étincelles, qui échappent partout de la barre en approchant d'elle un corps à pores ouverts, allument d'abord l'esprit-de-vin, et tuent de petits oiseaux dont on présente la tête. Quand on plonge l'autre bout de la chaîne DE dans un bassin rempli d'eau, soutenu par des corps à pores fermés, comme du verre, de la poix et de la soie, toute la quantité d'eau devient électrique; et quelques auteurs assurent avoir électrisé de cette façon des lacs tout entiers, de sorte que quand on y approchait la main on a vu sortir de l'eau même des étincelles très-piquantes. Mais il me semble qu'il faudrait bien long-temps tourner la boule pour pousser une si grande partie d'éther dans une masse si énorme d'eau; il faudrait aussi que le lit, et tout ce qui environne le lac, eût ses pores bien fermés.

De cette manière, plus les pores d'un corps sont ouverts, et plus est-il propre à recevoir un plus haut degré d'électricité et à produire des effets prodigieux. Votre Altesse conviendra que tout cela est très-conforme aux principes que j'ai établis au commencement.

14 juillet 1761.

LETTRE XIV.

Sur l'électrisation des hommes et des animaux.

Comme on peut transporter l'électricité du verre dans une barre de fer, par le moyen d'une chaîne qui y établit une communication, on peut de la même manière faire passer l'électricité dans le corps d'un homme, attendu que les corps des animaux ont avec les

métaux et l'eau cette commune propriété, que leurs pores sont fort ouverts; mais il faut que cet homme ne touche point à d'autres corps dont les pores sont aussi ouverts.

Pour cet effet on place l'homme sur un grand morceau de poix, ou on le fait asseoir sur une chaise soutenue par des colonnes de verre, ou enfin on suspend cette chaise par des cordes de soie, puisque toutes ces matières ont leurs pores assez fermés pour ne pas laisser échapper l'éther dont le corps de l'homme devient surchargé par l'électrisation.

Cette précaution est absolument nécessaire; car si le corps de l'homme était posé sur la terre nue, qui a aussi ses pores assez ouverts, dès que l'éther dans le corps de l'homme serait porté à un plus haut degré de compression il se déchargerait aussitôt dans la terre, et il faudrait être en état de surcharger la terre tout entière d'éther avant que l'homme devînt électrique. Or, Votre Altesse comprend aisément que le coussin dont la boule de verre est frottée ne saurait suffire à fournir une si prodigieuse quantité d'éther; et quand on en voudrait tirer de la terre même, on n'avancerait rien: puisqu'on lui en ôterait d'un côté autant qu'on lui en aurait donné de l'autre.

Ayant donc placé l'homme qu'on veut électriser comme je viens de l'indiquer, on n'a qu'à lui faire toucher avec la main la boule de verre pendant qu'elle tourne, et l'éther accumulé dans la boule passera aisément dans les pores ouverts de la main, et se répandra par tout le corps: d'où il ne saurait plus échapper si aisément, puisque l'air et tous les corps dont il est environné ont leurs pores fermés. Au lieu de lui faire toucher la boule avec la main, il suffira aussi qu'il touche la chaîne ou la barre de fer même dont j'ai parlé dans la lettre précédente; mais, dans ce cas, non-seulement l'homme lui-même doit être surchargé d'éther, mais aussi la chaîne avec la barre de fer, et, comme cela demande une plus grande quantité d'éther, il faut travailler plus long-temps à faire tourner la boule pour en fournir suffisamment.

De cette manière l'homme devient tout entier électrique, ou bien tout son corps sera surchargé d'éther, qui y sera porté par conséquent au plus haut degré de compression et d'élasticité, d'où il s'efforcera d'en échapper.

Votre Altesse jugera bien que cet état violent ne saurait être indifférent à l'homme. Notre corps, dans toutes ses moindres parties, est tout à fait pénétré d'éther; et les moindres fibrilles, aussi bien que les nerfs, en sont si remplies, que cet éther renferme sans doute les principaux ressorts des mouvements animaux et vitaux.

Aussi observe-t-on que le pouls d'un homme électrisé marche plus vite; la sueur est excitée en lui, et le mouvement des plus subtiles liqueurs dont notre corps est rempli devient plus rapide. On sent aussi un certain changement par tout le corps, qu'on ne saurait décrire; et on n'est que trop assuré qu'un tel état a une grande influence sur la santé, quoiqu'on n'ait pas encore fait assez d'expériences pour déterminer en quels cas cette influence est salutaire ou non. Quelquefois il peut être bon que le sang et les autres *humidités* soient mis dans une plus vive circulation, et on peut prévenir certaines obstructions qui pourraient avoir des suites fâcheuses; mais quelquefois il peut arriver qu'une trop forte agitation soit nuisible à la santé. La chose serait bien digne que les médecins y apportassent plus de soins pour la mieux examiner. On se vante bien de quelques guérisons très-surprenantes opérées par l'électrisation, mais on ne peut pas encore assez bien distinguer les occasions où l'on peut s'en promettre un bon succès.

Pour retourner à notre homme électrisé, il est très-remarquable que dans l'obscurité on le voit entouré d'une lumière comme celle que les peintres représentent autour des têtes des saints. La raison en est assez évidente; car, puisqu'il s'en échappe continuellement quelques parties de l'éther dont le corps est surchargé, et qu'il rencontre dans les pores fermés de l'air beaucoup de résistance, il est mis dans une certaine agitation qui est l'origine de toute la lumière, comme j'ai eu l'honneur de le prouver à Votre Altesse.

Mais, dans cet état où l'homme électrisé se trouve, on remarque des phénomènes très-surprenants : quand on le touche, on voit non-seulement sortir du lieu touché des étincelles très-fortes, mais cet homme y souffre encore une douleur très-vive. Aussi, si c'est un autre homme dans son état naturel, ou non électrisé, qui le touche, tous les deux ressentent cette douleur, qui pourrait bien avoir des suites funestes, surtout quand on le touche à la tête ou dans quelque autre endroit très-sensible. De là Votre Altesse comprend combien peu il nous est indifférent qu'une partie de l'éther contenu dans notre corps s'en échappe, ou qu'il en entre de nouveau, surtout quand cela se fait avec une si prodigieuse rapidité.

Au reste, la lumière dont on voit entouré un homme électrisé dans l'obscurité confirme admirablement ce que j'ai eu l'honneur de dire sur l'atmosphère électrique qui environne tous les corps; et Votre Altesse ne trouvera plus aucune difficulté sur la plupart des phénomènes électriques, quelque inexplicables qu'ils paraissent à d'autres.

18 juillet 1761.

LETTRE XV.

Du caractère distinctif des deux espèces de l'électricité, positive et négative.

Votre Altesse se souvient que non-seulement le verre devient électrique par le frottement, mais que d'autres matières, comme la cire d'Espagne et le soufre, ont la même propriété, en tant que leurs pores sont aussi fermés; de sorte que, soit qu'on y fasse passer trop d'éther ou qu'on les en dépouille d'une partie, elles se conservent pendant quelque temps dans cet état, sans que l'équilibre soit sitôt rétabli.

Ainsi, au lieu d'un globe de verre on se sert aussi de globes de cire d'Espagne ou de soufre, qu'on fait tourner autour d'un axe pendant qu'ils frottent contre un coussin, de la même manière que j'ai eu l'honneur d'exposer à l'égard d'un globe de verre. Par ce moyen on rend ces globes également électriques; et en leur appliquant une barre de fer qui ne les touche que par de minces filets, ou franges de métal, incapables d'endommager le globe, l'électricité se communique aussitôt à cette barre, d'où on peut ensuite la transmettre en d'autres corps à volonté.

Cependant on découvre ici une différence bien remarquable. Un globe de verre, étant rendu électrique de cette façon, devient surchargé d'éther; et la barre de fer, ou d'autres corps qu'on y met en communication, en acquièrent une électricité de même nature : ou bien l'éther s'y trouve dans une trop grande compression, dont l'élasticité est augmentée. Cette électricité est nommée positive, ou électricité en plus. Mais quand on traite de la même manière un globe de cire d'Espagne ou de soufre, il en naît une électricité directement contraire, qu'on nomme négative ou électricité en moins, puisqu'on remarque que par le frottement ces globes deviennent dépouillés d'une partie d'éther renfermé dans leurs pores.

Votre Altesse sera surprise de voir comment le même frottement peut produire des effets tout à fait opposés; mais cela dépend de la nature des corps frottants et frottés, et de la roideur de leurs moindres particules qui contiennent les pores. Pour expliquer la possibilité de cette différence il est d'abord évident que, lorsque deux corps sont fortement frottés l'un contre l'autre, les pores de l'un doivent ordinairement souffrir une plus grande compression que ceux de l'autre, et alors l'éther contenu dans les pores qui souffrent une plus grande compression est exprimé et forcé de

s'insinuer dans les pores de l'autre corps, qui sont moins comprimés.

Cela posé, il faut dire que, dans le frottement du verre par un coussin, les pores du coussin souffrent une plus grande compression que ceux du verre, et que par conséquent l'éther du coussin passe dans le verre et y produit une électricité positive ou en plus, comme j'ai déjà eu l'honneur de l'expliquer à Votre Altesse. Mais quand on substitue un globe de cire d'Espagne ou de soufre au lieu du verre, ces matières étant susceptibles d'une plus grande compression dans leurs pores que la matière du coussin dont on les frotte, une partie de l'éther contenue dans ces globes en sera exprimée et obligée d'entrer dans le coussin : d'où ces globes de cire d'Espagne ou de soufre seront dépouillés d'une partie de leur éther, et obtiendront par conséquent une électricité négative ou en moins.

De la même nature est l'électricité que reçoit une barre de fer ou de métal, mise en communication avec un globe de cire d'Espagne ou de soufre; et de telle nature sera aussi l'électricité qu'on communique à un homme placé sur une masse de poix, ou suspendu par des cordes de soie. Quand on touche un tel homme ou autre corps électrisé de cette manière, ayant ses pores ouverts, on y observe à peu près les mêmes phénomènes que dans le cas de l'électricité positive ou en plus. L'attouchement y est aussi accompagné d'une étincelle et d'une piqûre de part et d'autre. La raison en est évidente; car l'éther qui s'échappe ici des corps qui se trouvent dans leur état naturel pour entrer dans les corps électrisés, étant gêné, doit être accompagné d'une agitation qui cause la lumière. Cependant on remarque une sensible différence dans la figure de l'étincelle, selon que l'électricité est positive ou négative.

Si la barre AB (*fig.* 97) a une électricité positive et qu'on lui présente le doigt C, la lumière qui sort de la barre paraît sous la forme d'une aigrette *mn*, et auprès du doigt on voit en *p* un point lumineux.

A Électricité positive B

Fig. 97.

Mais si la barre AB (*fig.* 98) a une électricité négative, et qu'on lui présente le doigt C, c'est du doigt que sort l'aigrette lumineuse *mn*, et on voit le point lumineux *p* auprès de la barre.



Fig. 98.

Voilà le principal caractère par lequel on distingue l'électricité positive de la négative. Toujours où l'éther s'échappe, l'étincelle a la figure d'une aigrette; mais où l'éther entre dans un corps, l'étincelle est un point lumineux.

21 juillet 1761.

LETTRE XVI.

Comment le même globe de verre peut fournir l'une et l'autre espèce d'électricité à la fois.

Votre Altesse comprendra mieux la différence entre l'électricité positive et négative quand j'aurai l'honneur de lui expliquer comment on peut produire par un seul globe de verre l'une et l'autre espèce d'électricité, ce qui servira en même temps à mieux éclaircir ces admirables phénomènes de la nature.

Soit AB (*fig.* 99) le globe de verre tourné autour de son axe C

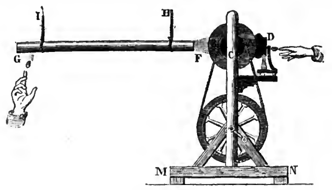


Fig. 99.

et frotté par le coussin D, vis-à-vis duquel l e globe est touché par des franges de métal F, attachées à la barre de fer FG, suspendue par des cordes de soie H et I, afin que la barre ne touche nulle part à des corps à pores ouverts.

Cela posé, Votre Altesse sait que, par le frottement contre le coussin D, l'éther passe du coussin dans le verre, où il devient plus comprimé et par conséquent plus élastique; de là il passera donc par les franges F dans la barre de fer FG: car quoique les pores du verre soient assez fermés, puisque l'éther s'accumule dans le globe de plus en plus par le frottement, il devient bientô

si surchargé, qu'il en échappe par les franges de métal pour se décharger dans la barre, d'où celle-ci devient également électrique.

De là Votre Altesse voit que tout ce superflu d'éther est fourni par le coussin, qui en serait bientôt dépouillé s'il n'avait point une libre communication avec l'échafaudage qui soutient la machine, et par là avec la terre tout entière, d'où le coussin est à chaque instant de nouveau rempli d'éther; de sorte que, tant que le frottement dure, il en a copieusement pour comprimer davantage celui qui se trouve dans le globe et la barre. Mais si toute la machine repose sur des piliers de verre comme M et N, ou qu'elle soit suspendue par des cordes de soie, de sorte que le coussin n'ait aucune communication avec des corps à pores ouverts, d'où le défaut d'éther y puisse être suppléé, le coussin sera bientôt dépouillé de son éther, et l'électricité dans le globe et la barre ne saurait être portée au delà d'un certain degré, qui sera à peine sensible, à moins que le coussin ne soit d'un volume prodigieux. Pour suppléer à ce défaut, on met le coussin D en communication avec une grande masse de métal E, dont l'éther soit suffisant pour en fournir assez au globe et à la barre, et y porter l'éther à un si haut degré de compression.

Par ce moyen on procurera au globe et à la barre une électricité positive, comme j'ai eu l'honneur de l'expliquer à Votre Altesse. Mais à mesure que le globe et la barre deviennent surchargés d'éther, le coussin et la masse métallique E en perdent précisément autant, et acquièrent par là une électricité négative; de sorte que nous avons ici à la fois les deux espèces d'électricité : la positive dans la barre, et la négative dans la masse métallique. L'une et l'autre produit son effet conformément à sa nature. Quand on présente le doigt à la barre, il sortira de la barre une étincelle en forme d'aigrette, et on verra un point lumineux au doigt; mais si l'on présente le doigt à la masse métallique, l'aigrette sortira du doigt, et on verra le point lumineux à la masse.

Concevons aussi deux hommes placés sur des masses de poix pour les mettre hors de toute communication avec des corps à pores ouverts; que l'un touche à la barre, et l'autre à la masse métallique, pendant que la machine est mise en action : il est clair que le premier qui touche à la barre deviendra électrique positivement ou surchargé d'éther; pendant que l'autre, qui touche à la masse métallique, acquerra une électricité négative et sera dépouillé de son éther.

Voilà donc deux hommes l'un et l'autre électriques, mais d'une nature tout à fait contraire, quoiqu'ils aient été rendus électri-

32.

ques par la même machine. L'un et l'autre sera entouré d'une atmosphère électrique, qui dans l'obscurité paraîtra sous la forme d'une lueur à peu près comme les peintres représentent les saints: la raison en est que de l'un l'éther superflu échappe insensiblement dans l'air environnant, et qu'à l'égard de l'autre l'éther contenu dans l'air s'insinue insensiblement dans son corps. Ce passage, quoique insensible, sera accompagné d'une agitation d'éther, d'où résulte la lumière.

Il est clair que ces deux électricités sont directement opposées; mais, pour s'en convaincre, ces deux hommes n'ont qu'à se donner les mains ou se toucher seulement, et on verra sortir d'eux des étincelles très-fortes, et eux-mêmes ressentiront des douleurs très-vives.

Si ces deux hommes étaient électrisés de la même espèce, ce qui arriverait si tous les deux touchaient ou la barre ou la masse métallique, ils pourraient se toucher impunément, sans la moindre marque d'étincelle et de douleur, puisque l'éther contenu dans tous les deux se trouverait dans le même état, tandis que dans l'autre cas leur état est tout à fait contraire.

25 juillet 1761.

LETTRE XVII.

De l'expérience de Leyde.

Je vais entretenir maintenant Votre Altesse sur un phénomène tout à fait singulier de l'électricité qui a fait bien du bruit, et qui est connu sous le nom de la fameuse expérience de Leyde; puisque M. Muschenbroeck, professeur à Leyde, en est l'inventeur. Le singulier de cette expérience consiste dans la force terrible qui en résulte, et dont plusieurs personnes à la fois peuvent sentir les coups les plus rudes.

La *fig.* 100 mettra Votre Altesse en état de comprendre la nature de cette expérience curieuse. C est le globe de verre tourné par le moyen de la manivelle E, et frotté par le coussin DD pressé contre le globe par le ressort O. En Q sont les franges métalliques qui transmettent l'électricité dans la barre de fer FG par la chaîne métallique P.

Jusqu'ici rien ne diffère de la manœuvre que j'ai déjà quelquefois eu l'honneur de décrire à Votre Altesse. Mais, pour exécuter l'expérience dont il s'agit ici, on attache à la barre encore une

autre chaîne de métal II, dont on fait entrer l'autre bout I dans un matras de verre K L, rempli d'eau, et le matras même est posé dans un bassin LL également rempli d'eau. On enfonce dans l'eau du bassin encore une autre chaîne A, quand on veut, dont l'autre bout traîne sur le plancher.

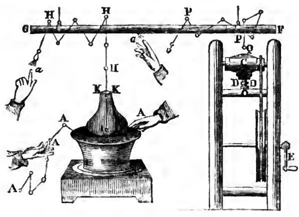


Fig. 100.

Maintenant, ayant fait mouvoir la machine pendant quelque temps pour que la barre devienne suffisamment électrique, Votre Altesse sait que, si quelqu'un présentait son doigt au bout de la barre en *a*, il en ressentirait le coup ordinaire de l'électricité par l'étincelle qui en sort. Mais si ce même homme mettait en même temps l'autre main dans l'eau du bassin en A, ou qu'il touchât seulement de son corps la chaîne plongée dans cette eau, il ressentirait un coup incomparablement plus rude, qui lui causerait des secousses par tout le corps.

On peut même faire sentir ces mêmes secousses à plusieurs personnes à la fois : ces personnes n'ont qu'à se donner les mains, ou il suffit même qu'elles se touchent par leurs habits; alors la première personne met sa main dans l'eau du bassin, ou touche seulement la chaîne dont un bout y est plongé ; ensuite, dès que la dernière personne présente le doigt à la barre, on en voit sortir une étincelle beaucoup plus forte qu'à l'ordinaire, et toutes les personnes sont frappées au même instant de coups très-rudes par tout leur corps.

Voilà la fameuse expérience de Leyde, qui est d'autant plus surprenante qu'il est difficile de voir de quelle manière le matras

l'eau du bassin contribuent à renforcer si terriblement l'effet de l'électricité. Pour surmonter cette difficulté, j'aurai l'honneur de faire là-dessus les réflexions suivantes [1].

I.

Pendant que, par l'action de la machine, l'éther est comprimé dans la barre, il passe par la chaîne H jusque dans l'eau contenue dans le matras I; et puisqu'il y rencontre des pores ouverts, l'eau du matras deviendra aussi bien surchargée d'éther que la barre même.

II.

Or, le matras étant de verre, il a ses pores fermés, qui ne permettent pas à l'éther comprimé en dedans de traverser la substance du verre, pour se décharger dans l'eau de dehors contenue dans le bassin; et par conséquent l'eau du bassin demeure dans son état naturel, et ne deviendra pas électrique: et quand même quelque éther en échapperait à travers le verre, il se perdrait bientôt dans le bassin et le piédestal, dont les pores sont ouverts.

III.

Considérons maintenant un homme tenant une main dans l'eau du bassin, ou touchant seulement la chaîne A, dont un bout est plongé dans cette eau; qu'il présente maintenant l'autre main vers la barre en *a*, il en résultera pour premier effet qu'avec l'étincelle qui sort de la barre l'éther échappera très rapidement de la barre et traversera le corps de l'homme librement, y trouvant partout des pores ouverts.

IV.

Jusqu'ici on ne voit que l'effet ordinaire de l'électricité; mais pendant que l'éther traverse si rapidement le corps de l'homme, il en sort avec une semblable rapidité par l'autre main ou par la chaîne A, pour se dégorger dans l'eau du bassin, et puisqu'il y entre avec une si grande impétuosité il vaincra aisément l'obstacle qu'oppose le verre, et pénétrera jusque dans l'eau contenue dans le matras.

V.

Or, l'eau dans le matras contenant déjà un éther trop comprimé, il acquerra par ce surcroît de nouvelles forces, et se répandra avec

1. Il ne faut voir dans toute cette théorie de la bouteille de Leyde qu'un système propre à Euler, qu'aucun physicien, malgré l'autorité de ce grand nom, ne voudrait soutenir aujourd'hui.

impétuosité tant par la chaîne IH que par la barre même; par conséquent il en échappera en *a* avec de nouveaux efforts : et comme cela se fait dans un instant, il entrera avec une augmentation de forces dans le doigt pour traverser le corps de l'homme.

VI.

De là passant de nouveau dans l'eau du bassin, et ensuite pénétrant le matras, il augmentera encore l'agitation de l'éther comprimé dans l'eau du matras et de la barre : et cela durera jusqu'à ce que tout soit remis en équilibre; ce qui se fera bien vite, à cause de la grande rapidité dont l'éther agit.

VII.

La même chose aura lieu si on emploie plusieurs personnes; et maintenant Votre Altesse comprend aisément, à ce que j'espère, d'où vient cette surprenante augmentation de la force de l'électricité dans cette expérience de Muschenbroeck, qui est capable de produire des effets si prodigieux.

VIII.

S'il y avait encore quelque doute sur ce que j'ai dit d'abord : que l'éther comprimé dans l'eau du matras ne saurait pénétrer par le verre, et que dans la suite je lui ai supposé un passage assez libre; tout ce doute s'évanouira par la considération que dans le premier cas tout est tranquille, et que dans le dernier l'éther se trouve dans une terrible agitation : ce qui doit sans doute beaucoup contribuer à forcer les passages les plus fermés.

28 juillet 1761.

LETTRE XVIII.

Réflexions sur la cause et la nature de l'électricité, et sur les autres moyens propres à produire l'électricité.

Après ces éclaircissements, Votre Altesse ne sera plus en peine sur la cause des effets prodigieux qu'on observe dans les phénomènes de l'électricité.

La plupart des auteurs qui en ont écrit embrouillent tellement les expériences, qu'à la fin on n'y comprend absolument rien, et surtout quand ils veulent en donner une explication Tous ont recours à une certaine matière subtile qu'ils nomment le fluide élec-

trique, auquel ils attribuent des qualités si bizarres que notre esprit en est tout à fait révolté; et au bout du compte ils sont obligés d'avouer que tous leurs efforts ne sont rien moins que suffisants pour nous procurer une connaissance solide de ces phénomènes importants de la nature.

Mais, de ce que j'ai eu l'honneur de développer à Votre Altesse, il est clair que les corps ne deviennent électriques qu'en tant que l'élasticité, ou l'état de compression de l'éther qui se trouve dans les pores des corps, n'est pas en équilibre, ou lorsqu'il est dans quelques-uns plus ou moins comprimé que dans les autres. Car alors la prodigieuse élasticité dont l'éther est doué fait de grands efforts pour se remettre en équilibre et pour se rétablir partout au même degré d'élasticité, autant que la nature des pores, qui dans les divers corps sont plus ou moins ouverts, le permet; et c'est toujours la restitution actuelle en équilibre qui produit les phénomènes de l'électricité.

Quand l'éther s'échappe d'un corps où il est plus comprimé pour se décharger dans un autre où sa compression est moindre, ce passage se trouve toujours gêné par les pores fermés de l'air; et de là vient qu'il est mis dans une certaine agitation ou mouvement violent de vibration, en quoi nous avons vu que consiste la lumière, et plus ce mouvement est violent, plus la lumière devient brillante, et même capable d'allumer et brûler lès corps.

Ensuite, pendant que l'éther pénètre l'air avec une si grande violence, les particules de l'air en sont mises aussi dans un mouvement de vibration, qui est la propre cause du son; aussi observe-t-on que les phénomènes de l'électricité sont accompagnés d'un craquement, ou de quelque bruit plus ou moins grand, selon la diversité des circonstances.

Outre cela, puisque les corps des hommes et des animaux sont remplis d'éther dans leurs moindres pores, et que surtout l'action des nerfs semble dépendre de l'éther qui y est contenu, les hommes et les animaux ne sauraient être indifférents à l'égard de l'électricité; et quand l'éther y est mis dans une grande agitation l'effet y doit être sensible, et, selon les circonstances, tantôt salutaire, tantôt nuisible. A cette dernière classe il faut sans doute rapporter les terribles secousses de l'expérience de Leyde; et il n'y a aucun doute qu'on ne la puisse porter à un degré de force qui fût capable de tuer les hommes; car c'est par ce moyen qu'on a déjà effectivement tué quantité de petits animaux, comme des souris et des oiseaux.

Quoiqu'on se serve ordinairement du frottement pour produire

l'électricité, Votre Altesse comprendra aisément qu'il y a encore d'autres moyens propres à ce dessein. Tout ce qui est capable de porter l'éther contenu dans les pores d'un corps à un plus grand ou à un plus petit degré de compression qu'à l'ordinaire, rend ce corps en même temps électrique; et si ses pores sont fermés, l'électricité y sera de quelque durée: au lieu que dans les corps dont les pores sont ouverts, elle ne saurait subsister; à moins qu'ils ne soient tout autour environnés d'air, ou d'autres corps dont les pores sont fermés.

C'est ainsi qu'on a observé que la chaleur supplée souvent au frottement; quand on laisse chauffer ou fondre de la cire d'Espagne ou du soufre dans une cuiller, après le refroidissement on découvre une électricité très-sensible dans ces matières: la raison ne nous en doit plus être cachée, puisque nous savons que la chaleur élargit les pores de tous les corps. En effet nous voyons que tous les corps étant chauffés occupent un plus grand volume que quand ils sont froids.

Votre Altesse sait que le mercure dans un thermomètre monte dans la chaleur et descend dans le froid: c'est que le mercure, lorsqu'il est chaud, occupe un plus grand volume, ou remplit un plus grand espace, dans le verre, que quand il est plus froid. Par la même raison on trouve qu'une barre de fer bien chauffée est toujours un peu plus longue que lorsqu'elle est froide; cette propriété est commune à tous les corps que nous connaissons.

Donc, quand nous fondons sur le feu une masse de cire d'Espagne ou de soufre les pores en sont élargis et probablement plus ouverts; il faut donc qu'une plus grande quantité d'éther y entre pour remplir ces pores. Ensuite, quand on laisse refroidir ces matières, les pores se rétrécissent et se ferment en même temps, de sorte que l'éther y est réduit dans un moindre espace, et par conséquent forcé à un plus haut degré de compression; d'où son ressort est augmenté : ces masses acquerront donc une électricité positive et elles en montrent aussi les effets.

On remarque une semblable propriété dans la plupart des pierres précieuses, qui étant chauffées deviennent électriques. Il y a même une pierre de Ceylan, nommée *tourmalin* [1], qui, étant frottée ou chauffée, acquiert les deux espèces d'électricité à la fois: c'est que l'éther d'une partie de la pierre est chassé, pour comprimer davantage celui qui est dans l'autre partie; et les pores sont trop fermés pour permettre le rétablissement en équilibre.

1. On dit maintenant *tourmaline*.

1er août 1761.

LETTRE XIX.

Sur la nature du tonnerre (explication des anciens philosophes et de Descartes), et sur la ressemblance entre les phénomènes du tonnerre et ceux de l'électricité.

Jusqu'ici je n'ai considéré l'électricité qu'en tant qu'elle est un objet de notre curiosité et de la spéculation des physiciens; mais à présent Votre Altesse ne verra pas sans surprise que le tonnerre et la foudre, avec tous les phénomènes terribles qui les accompagnent, tirent leur origine du même principe, et que la nature opère ici en grand ce que les physiciens exécutent en petit par leurs expériences.

D'abord on a regardé ces philosophes comme des visionnaires qui se sont imaginé de trouver quelque ressemblance entre les phénomènes du tonnerre et ceux de l'électricité, et l'on a cru qu'ils ne faisaient cela que pour couvrir leur ignorance par rapport à la cause du tonnerre; mais Votre Altesse sera bientôt persuadée que jamais conjecture ne fut mieux fondée, et que toutes les autres explications de ces grandes opérations de la nature sont destituées de tout fondement.

En effet, tout ce qu'on a avancé là-dessus avant la connaissance de l'électricité était enveloppé dans la plus grande absurdité, et n'était pas capable de nous éclaircir sur le moindre phénomène du tonnerre.

Les anciens philosophes en attribuèrent la cause aux vapeurs sulfureuses et bitumineuses qui montaient de la terre dans l'air, et se mêlaient avec les nuages, où elles s'allumaient par quelque cause inconnue.

Descartes, qui connut bientôt l'insuffisance de cette explication, imagina une autre cause dans les nuages mêmes, et crut que le tonnerre était produit lorsque les nuages plus élevés tombaient subitement sur d'autres plus bas; que par cette chute l'air contenu entre eux était comprimé au point de causer un si grand bruit, et de produire même les éclairs et la foudre, quoiqu'il lui fût impossible d'en montrer la possibilité.

Mais, sans arrêter Votre Altesse à de fausses explications, qui n'aboutissent à rien, je me hâte de lui apprendre qu'on a découvert des preuves incontestables pour nous convaincre que les phénomènes du tonnerre sont toujours accompagnés des marques les plus évidentes de l'électricité.

On place une barre de fer ou d'autre métal sur un pilier de verre ou de quelque autre matière qui a ses pores fermés, afin que, quand la barre devient électrique, l'électricité n'en puisse échapper ou se communiquer avec le corps qui soutient la barre. Alors, dès qu'un orage s'élève, et que les nuages prêts à tonner avancent jusqu'au-dessus de la barre, on y découvre une très-forte électricité, qui surpasse ordinairement beaucoup celle qu'on est capable de produire par l'art; de sorte que si l'on approche la main ou quelque autre corps à pores ouverts, on y voit éclater non une étincelle, mais même un éclair très-vif, avec un bruit semblable au tonnerre, dont l'homme qui y prête sa main reçoit un coup si violent qu'il ne saurait le soutenir. Cela passe la curiosité; et on a bien raison d'être sur ses gardes, et de ne pas s'approcher de la barre dans le temps d'un orage.

Un professeur à Pétersbourg, nommé Richmann, nous en a fourni un triste exemple. Dès qu'on s'est aperçu d'une liaison si étroite entre les phénomènes du tonnerre et ceux de l'électricité, ce malheureux physicien, pour s'en mieux assurer par les expériences, a élevé une barre de fer sur le toit de sa maison, enchâssée en bas dans un tuyau de verre, et soutenue encore par une masse de poix. Il attacha à la barre un fil d'archal, qu'il conduisit jusque dans sa chambre, afin que, dès que la barre deviendrait électrique, l'électricité se communiquât librement avec le fil d'archal, et qu'il en pût éprouver les effets dans sa chambre. Votre Altesse comprend bien que ce fil d'archal a été conduit par des trous, de façon qu'il n'a touché nulle part que des matières à pores fermés, comme du verre, de la poix ou de la soie, afin que l'électricité n'en pût échapper.

Dans cette disposition il attendit un orage, qui arriva bientôt pour son malheur. On entendit tonner de loin; M. Richmann fut fort attentif sur son fil d'archal, pour voir s'il n'y découvrait point quelque marque d'électricité. Comme l'orage s'approchait davantage, il jugea bien qu'il fallait prendre quelque précaution et ne pas s'approcher témérairement du fil; mais par mégarde il y approcha un peu son front, et en reçut un coup si terrible, avec un grand éclat, qu'il en tomba roide mort.

Vers le même temps, feu M. le docteur Lieberkuhn et M. le docteur Ludolf voulurent faire ici de semblables expériences, et avaient fixé aussi, dans cette vue, des barres de fer sur leurs maisons; mais dès qu'ils furent avertis du désastre de M. Richmann, ils se sont hâtés d'ôter les barres de leurs maisons, et je crois qu'ils ont agi fort sagement.

Votre Altesse jugera par là très-aisément que l'air atmosphérique doit devenir très-électrique dans le temps d'un orage, ou que l'éther y doit être porté à un très-haut degré de compression. Cet éther dont l'air est surchargé passera dans la barre, à cause de ses pores ouverts, et la rendra électrique, comme si elle était électrisée par la méthode ordinaire, mais dans un degré beaucoup plus haut.

4 août 1761.

LETTRE XX.

Explication des phénomènes de l'éclair et du tonnerre.

Les expériences dont je viens de parler prouvent donc incontestablement que les nuages orageux sont extrêmement électriques, et par conséquent leurs pores ou surchargés ou dépouillés d'éther, puisque l'un et l'autre état convient également à l'électricité. Mais j'ai des raisons bien fortes qui me persuadent que cette électricité est positive, et que l'éther y est comprimé à un plus haut degré, et conséquemment d'autant plus élastique qu'ailleurs.

Ordinairement de tels orages n'arrivent qu'après de grandes chaleurs : alors les pores de l'air et des vapeurs qui y voltigent sont extrêmement élargis et remplis d'une prodigieuse quantité d'éther, qui, à ce que Votre Altesse sait, occupe aisément tous les espaces vides d'autres matières. Mais quand les vapeurs s'assemblent dans les régions supérieures de notre atmosphère pour y former des nuages, elles y rencontrent un très-grand froid. C'est de quoi on ne saurait douter, à cause de la grêle qui se forme souvent dans ces régions; ce qui prouve suffisamment une congélation : outre cela, il est très-certain que, quelque chaud qu'il fasse ici-bas, il règne en haut toujours un très-grand froid. Ce froid est aussi la raison que les hautes montagnes sont toujours couvertes de neige; et même au Pérou, qui est le pays le plus chaud de la terre, les sommets des hautes montagnes connues sous le nom de Cordilières ne contiennent que de la neige et de la glace.

Rien n'est donc plus certain et mieux établi que le grand froid qui règne partout en haut de notre atmosphère, où les nuages se forment. Or, il est également certain que le froid rétrécit les pores des corps, en les réduisant à un plus petit volume : donc, puisque les pores des vapeurs ont été extrêmement élargis par la chaleur, aussitôt qu'elles forment en haut des nuages, les pores y seront

rétrécis; et en tant que l'éther qui les remplissait n'en peut pas échapper, parce que les pores de l'air sont presque tout à fait bouchés, il faut bien que l'éther y reste et qu'il y soit comprimé à un beaucoup plus haut degré de densité, d'où son ressort sera d'autant plus augmenté.

Voilà donc le véritable état des nuages orageux : c'est que l'éther contenu dans leurs pores est beaucoup plus élastique qu'à l'ordinaire, ou bien que les nuages ont une électricité positive ou en plus. Comme les nuages ne sont qu'un amas de vapeurs humides, leurs pores sont bien ouverts ; mais puisqu'ils sont entourés de l'air dont les pores sont bien fermés, cet éther comprimé dans les nuages n'en saurait échapper qu'assez insensiblement. Mais si quelque personne ou quelque autre corps à pores ouverts approchait d'un tel nuage, on y remarquerait les mêmes phénomènes que l'électricité nous fait voir : une étincelle en sortirait, mais ce serait une étincelle bien forte, ou plutôt un éclair réel. Outre cela, le corps en éprouverait un coup très-rude, à cause de l'impétuosité avec laquelle l'éther du nuage entrerait dans les pores du corps. Cette violence pourrait bien détruire la structure du corps : et enfin la terrible agitation de l'éther qui échappe du nuage étant non-seulement une lumière, mais aussi un vrai feu, elle serait capable d'allumer et brûler les corps combustibles.

Votre Altesse reconnaîtra ici le vrai phénomène de la foudre; et pour le bruit du tonnerre, la cause en est très-manifeste : puisque l'éther ne saurait être mis dans une si terrible agitation sans que l'air lui-même n'en reçoive les plus vives secousses, qui, le mettant dans un grand ébranlement, doivent nécessairement produire un grand bruit. Le tonnerre éclate donc toutes les fois que la force de l'éther contenu dans les nuages peut pénétrer jusqu'à un corps où l'éther se trouve dans son état naturel, et dont les pores sont ouverts; il n'est pas même nécessaire que ce corps touche le nuage immédiatement.

Ce que j'ai dit sur les atmosphères des corps électrisés a principalement lieu dans les nuages électriques; et quelquefois dans le temps d'un orage nous sentons cette atmosphère électrique par un air étouffant, auquel certaines personnes sont très-sensibles. Ensuite, dès qu'un tel nuage commence à se résoudre en pluie, l'air, en devenant humide, est chargé d'une semblable électricité, par laquelle le coup électrique peut être porté à des corps fort éloignés.

On observe que la foudre frappe très-aisément les corps fort élevés, comme les sommets des clochers quand ils sont faits d'une matière à pores ouverts, comme de métal; et une forme pointue

n'y contribue pas peu. La foudre frappe aussi aisément dans l'eau, dont les pores sont aussi très-ouverts; mais les pores à corps fermés, comme le verre, la poix, le soufre et la soie, ne sont guère sujets au tonnerre, à moins qu'ils ne soient fort mouillés. Aussi observe-t-on que quand la foudre passe par une fenêtre, elle ne pénètre pas par le verre, mais toujours par le plomb dont les carreaux sont joints ensemble. On pourrait presque assurer qu'une telle maison de verre, liée avec de la poix et d'autres matières à pores fermés, nous mettrait à l'abri des effets de la foudre [1].

8 août 1761.

LETTRE XXI.

Suite de cette explication.

Le tonnerre et la foudre ne sont donc autre chose que l'effet de l'électricité dont les nuages sont doués; et comme un corps électrisé, lorsqu'il approche d'un autre corps qui se trouve dans son état naturel, y lance une étincelle avec quelque bruit, et y décharge le superflu de son éther avec une grande impétuosité, la même chose arrive dans un nuage électrique ou surchargé d'éther, mais avec une force incomparablement plus grande, à cause de la terrible masse électrisée, et où, selon toute apparence, l'éther est réduit à un beaucoup plus haut degré de compression que nous ne sommes en état de le porter par nos machines électriques.

Donc, lorsqu'un tel nuage approche des corps propres pour s'y décharger de son éther, cette décharge doit se faire avec une terrible violence : au lieu d'une simple étincelle, l'air sera pénétré d'un grand éclair, lequel, ébranlant l'éther contenu dans toute la région voisine de l'atmosphère, y produit une lumière très-vive; et c'est en quoi consiste l'éclair.

Or, en même temps, l'air lui-même est mis dans une très-forte agitation, accompagnée d'un mouvement de vibration, d'où résulte le bruit du tonnerre : ce bruit arrive bien en même temps que l'éclair, mais Votre Altesse sait que le son demande toujours un cer-

1. Celte assurance ne serait pas entièrement fondée; et parmi les faits qui montrent que la foudre ne respecte pas toujours les enveloppes vitreuses, il suffit de citer le suivant : En 1824, le tonnerre étant tombé dans la maison de M. William Bremmer à Milton of Comage, un des carreaux de vitre de la fenêtre se trouva percé d'un trou circulaire de la grandeur d'une balle de fusil; dans le reste de son étendue, ce carreau n'offrait pas une seule fissure.

(*Annuaire du bureau des Longitudes*, 1838.)

tain temps pour être transmis à une certaine distance, et que le son ne parcourt, chaque seconde, qu'un espace d'environ mille pieds, pendant que la lumière se communique avec une vitesse incomparablement plus grande; et c'est pourquoi nous entendons le tonnerre toujours plus tard que nous ne voyons l'éclair : et, par le nombre de secondes qui s'écoulent depuis l'éclair jusqu'à ce que nous entendions le tonnerre, nous pouvons juger de la distance où le tonnerre est engendré en comptant mille pieds pour chaque seconde.

Le corps même dans lequel l'électricité du nuage se décharge, en reçoit le coup le plus rude, dont il est mis tantôt en pièces, tantôt allumé et brûlé, s'il est combustible; tantôt fondu, si c'est un métal; et de ce corps on dit qu'il est frappé de la foudre, dont les effets, quelque surprenants et bizarres qu'ils paraissent, se trouvent parfaitement bien d'accord avec les phénomènes connus de l'électricité.

Quelquefois on a vu une épée fondue dans le fourreau par la foudre, sans que le fourreau fût endommagé : la raison en est évidemmemment dans les pores ouverts du métal, où l'éther pénètre aisément et y exerce ses efforts, pendant que la matière du fourreau tient plus à la nature des corps à pores fermés, qui ne permettent pas une entrée si libre à l'éther.

Quelquefois on a vu que, de plusieurs hommes sur lesquels la foudre est tombée, il n'y en eut que quelques-uns qui en furent frappés, pendant que d'autres, qui se trouvaient au milieu de ceux-là, n'en ont rien souffert. La cause de ce phénomène est aussi manifeste. Parmi ces hommes, ceux-là sont dans le plus grand danger, aux environs desquels l'air est le plus surchargé d'éther: donc, dès que cet éther se décharge dans un homme, tout l'air voisin en est réduit dans son état naturel, et par conséquent les hommes qui sont les plus proches de ce malheureux n'éprouvent aucun effet; tandis que d'autres qui en sont plus éloignés, où l'air est encore suffisamment surchargé d'éther, sont frappés du même coup de foudre.

Enfin, toutes les circonstances bizarres qu'on nous raconte souvent des effets de la foudre ne contiennent rien qu'on ne puisse aisément accorder avec la nature de l'électricité.

Il y a eu des philosophes qui ont soutenu que la foudre ne venait point des nues, mais de la terre ou des corps terrestres. Quelque bizarre que paraisse ce sentiment, il n'est pas si absurde, puisque, dans les phénomènes de l'électricité, il est difficile de distinguer si l'étincelle vient du corps électrisé ou de celui qui ne

l'est pas, attendu qu'elle remplit également l'espace entre les deux corps; et si l'électricité est négative, l'éther et l'étincelle est effectivement lancée du corps naturel ou non électrisé. Mais parce que nous sommes assez assurés que dans le tonnerre les nuages ont une électricité positive, nous sommes aussi certains que l'éclair est lancé des nuages.

Au reste, Votre Altesse aura raison de demander si, à chaque coup de tonnerre, quelque corps terrestre est frappé par la foudre. Nous voyons en effet que la foudre ne frappe que très-rarement des bâtiments ou des hommes; mais nous savons aussi que souvent des arbres en sont touchés, et que plusieurs coups de foudre entrent dans la terre et les eaux. Cependant je crois qu'on peut bien soutenir que quantité de coups de foudre ne pénètrent pas jusqu'ici-bas, et que l'électricité des nuages se décharge souvent dans l'air ou l'atmosphère [1]. La *fermeté* des pores de l'air n'y met plus d'obstacle dès que par des vapeurs ou par la pluie l'air est devenu assez humide; car alors nous savons que ses pores s'ouvrent.

Dans ce cas il peut très-bien arriver que l'éther superflu des nuages se décharge simplement dans l'air, et que plusieurs coups de foudre se font dans l'air, qui ne seront pas si forts, ni accompagnés d'un si grand bruit de tonnerre, que lorsque la foudre se lance jusque sur la terre, où une beaucoup plus grande étendue de l'atmosphère est mise en agitation.

Je crois que ces remarques ne contribueront pas peu à éclaircir mieux la nature du tonnerre, et en faire voir l'étroite liaison avec l'électricité.

11 août 1761.

LETTRE XXII.

Sur la possibilité de prévenir et de détourner les funestes effets de la foudre.

On demande s'il ne serait pas possible de prévenir ou de détourner les funestes effets de la foudre? Votre Altesse connaît l'impor-

1. Le fait suivant confirme l'opinion d'Euler en montrant que les éclairs s'échappent quelquefois des nuages par leur surface supérieure et se propagent dans l'atmosphère de bas en haut. Il existe en Styrie une montagne fort élevée, qu'on appelle le mont Sainte-Ursule, au sommet de laquelle était une église. Le 1er mai 1700, des nuages très-épais et très-noirs se formèrent vers la moitié de la hauteur de la montagne et devinrent bientôt le foyer d'un grand orage. Le ciel continua de rester très-serein au sommet, le soleil y brillait du plus vif éclat. Chacun pouvait donc se croire en parfaite sûreté dans l'église; et cependant la foudre, partie du nuage inférieur, y alla tuer sept personnes. (*Ann. du bureau des Longitudes*, 1838.)

tance de cette question : et combien d'obligations ne m'auraient pas tant d'honnêtes gens, si je pouvais leur indiquer un moyen sûr pour se mettre à l'abri de la foudre!

La connaissance de la nature et des effets de l'électricité ne me laisse pas douter que la chose ne soit possible. J'étais autrefois en correspondance avec un ecclésiastique de Moravie, nommé Procopius Divisch, qui m'a assuré avoir détourné, pendant un été tout entier, tous les orages de l'endroit où il demeurait et des environs, et cela par le moyen d'une certaine machine construite sur les principes de l'électricité. Quelques personnes, qui sont venues depuis de cette contrée, m'ont assuré que la chose était bien vraie et constatée.

Quand même la chose réussirait, il y a cependant bien des personnes qui douteraient qu'il fût permis de se servir d'un tel remède. En effet, les anciens païens auraient regardé comme un impie celui qui aurait entrepris d'arrêter Jupiter dans le maniement de ses foudres. Les chrétiens, qui sont assurés que la foudre est un ouvrage de Dieu, et que la divine providence s'en sert souvent pour punir la méchanceté des hommes, pourraient également dire que c'est une impiété de vouloir s'opposer à la justice souveraine.

Mais, sans m'engager dans cette question épineuse, je remarque que les incendies, les inondations et les autres calamités sont également des moyens que la Providence met en usage pour punir les péchés des hommes : cependant personne ne s'avisera de nous imposer la loi de n'opposer aucune résistance aux incendies et aux inondations. De là je tire la conséquence qu'il sera toujours très-permis de nous garantir contre les effets de la foudre, pourvu que nous y puissions réussir.

Le triste accident qui est arrivé à M. Richmann[1], à Pétersbourg, nous fait voir que le coup de foudre que cet homme s'est attiré aurait sans doute frappé quelque autre endroit, qui par cet accident en fut délivré; et par conséquent on ne saurait plus douter de la possibilité de déterminer la foudre à frapper plutôt un endroit que d'autres, ce qui semble pouvoir nous conduire à notre but.

Il vaudrait sans doute encore mieux pouvoir dépouiller les nuages de leur force électrique, sans être obligé de sacrifier quelques

1. Ce célèbre physicien fut tué subitement par une étincelle électrique à peu de distance d'un paratonnerre qui descendait dans son cabinet, et dont il avait interrompu la chaîne conductrice pour étudier les effets de l'électricité des nuages. Pendant qu'il disposait ses moyens d'observation une langue de feu bleuâtre se détacha du bout de la chaîne, produisit une détonation semblable à celle d'un coup de pistolet et alla frapper Richmann au front; il tomba roide mort sur le coup. Le graveur Sokolow, qui était à ses côtés, tomba aussi, mais revint à la vie après un évanouissement de quelques instants.

endroits à la fureur de la foudre; par ce moyen on préviendrait même les coups de tonnerre, qui causent tant de frayeur à bien du monde.

Cela ne paraît pas impossible, et il y a apparence que le prêtre mentionné de Moravie s'est servi d'un tel moyen, puisqu'on m'a assuré que sa machine paraissait attirer les nuages et les forcer à descendre tranquillement par une pluie, sans qu'on entendît un seul coup de tonnerre, à moins que ce ne fût de très-loin.

L'expérience d'une barre de fer fort élevée, qui devient électrique à l'approche d'un orage, dont j'ai parlé ci-dessus, nous peut conduire à la construction d'une telle machine, puisqu'il est certain qu'à mesure qu'une telle barre se décharge de son électricité les nuages en doivent perdre précisément autant; mais il faut faire en sorte que ces barres puissent sur-le champ se décharger de l'électricité qu'elles ont une fois attirée.

Pour cet effet, il faudrait ménager à ces barres une libre communication avec un étang, ou bien avec les entrailles de la terre, qui, à cause de leurs pores ouverts, peuvent aisément recevoir une beaucoup plus grande quantité d'éther, et la distribuer par toute l'étendue immense de la terre, afin que la compression de l'éther ne devienne nulle part sensible. Cette communication se fera très-commodément par des chaînes de fer ou de métal, qui conduiront très-promptement l'éther dont les barres se surchargent.

Je voudrais donc conseiller de fixer en des endroits fort élevés des barres de fer très-fortes, et même plusieurs, qu'il sera bon de faire pointues en haut. puisque cette figure est très-propre à attirer l'électricité. Ensuite j'attacherais à ces barres de longues chaînes de fer, que je conduirais sous la terre jusque dans un étang, lac ou rivière, pour y décharger l'électricité; et je ne doute pas que, dès qu'on aura fait quelques essais, on ne manquera pas de découvrir des moyens propres à rendre ces machines plus commodes et plus sûres.

Il est très-certain qu'à l'approche d'un orage, l'éther dont les nuages sont surchargés passerait très-copieusement dans ces barres, qui en deviendraient très-électriques, si les chaînes ne fournissaient à l'éther un libre passage pour se dissiper dans l'eau ou dans les entrailles de la terre.

Donc l'éther des nuages continuerait d'entrer tranquillement dans les barres, et à cette entrée il formerait une lumière par son agitation, qu'on verrait sur la pointe de ces barres.

Aussi observe-t-on souvent, pendant un orage, de telles lumières au haut des clochers; ce qui est une marque bien sûre que l'éther

du nuage s'y décharge paisiblement; et tout le monde regarde cela comme un très-bon signe, qui absorbe plusieurs coups de foudre.

En mer, on observe également souvent, sur le sommet des mâts, des lumières qui sont connues parmi les marins sous le nom de *Castor et Pollux;* et quand on voit ces signes, on se croit à l'abri des coups de tonnerre.

La plupart des philosophes ont rapporté ces phénomènes parmi les superstitions du peuple; mais nous reconnaissons maintenant que ces sentiments du peuple ne sont pas destitués de fondement : ils sont au contraire infiniment mieux fondés que la plupart des rêveries des philosophes.

15 août 1761.

LETTRE XXIII.

Sur le fameux problème des longitudes. Description générale de la terre, de son axe, ses deux pôles, et l'équateur.

Votre Altesse jugera sans doute qu'il est enfin temps de quitter l'électricité; aussi n'ai-je plus rien à ajouter sur ce sujet : mais je ne suis pas peu embarrassé pour trouver une matière qui soit digne de l'attention de Votre Altesse.

Je crois que, pour décider dans ce choix, je dois avoir égard aux matières qui intéressent davantage nos connaissances, et dont les écrivains font souvent mention; ce sont des matières sur lesquelles on peut prétendre que des personnes de qualité soient suffisamment instruites.

Votre Altesse ayant sans doute entendu parler souvent du fameux problème des longitudes, sur la solution duquel les Anglais ont promis de grands prix, je crois que mes instructions ne seront pas mal placées, quand je les emploierai à mettre Votre Altesse au fait de cette question importante. Elle est assez étroitement liée avec la connaissance du globe de notre terre pour qu'il ne soit pas permis de l'ignorer. C'est ce qui me fournira une occasion d'expliquer quantité d'articles intéressants, sur lesquels Votre Altesse sera bien aise d'être éclaircie.

Je commencerai donc par donner une description générale de la terre, qu'on peut regarder comme un globe, quoiqu'on ait trouvé, dans ces derniers temps, que sa véritable figure est un sphéroïde

tant soit peu aplati [1]; mais la différence est si petite, que nous la pouvons bien négliger à présent.

Nous devons remarquer premièrement sur le globe de la terre les deux points placés sur sa surface que l'on nomme les deux *pôles de la terre*. C'est autour de ces deux points que le globe de la terre tourne chaque jour, comme on fait tourner un globe qu'on tient fixe entre les deux pointes d'un tour; ce mouvement est nommé le mouvement journalier ou diurne de la terre, dont chaque tour s'achève en 24 heures environ. Ou bien, si nous voulions parler selon les apparences, Votre Altesse sait que le ciel tout entier, que nous regardons comme une boule creuse au milieu de laquelle la terre se trouve, paraît tourner autour de la terre dans le même temps de 24 heures : ce mouvement se fait aussi autour de deux points fixes dans le ciel, qu'on nomme les *pôles du ciel*. Maintenant, si nous concevons une ligne droite tirée d'un de ces pôles du ciel jusqu'à l'autre, cette ligne passera par le milieu de la terre.

Or, Votre Altesse comprend aisément que les apparences doivent être les mêmes, soit que la terre tourne autour de ces pôles, le ciel restant en repos; soit que le ciel tourne autour de ces pôles, la terre demeurant en repos. L'une et l'autre considération nous conduit également à la connaissance des pôles de la terre, sur laquelle est fondée non-seulement l'astronomie, mais aussi la géographie.

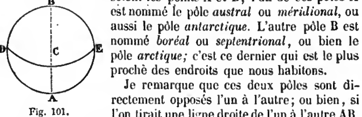


Fig. 101.

Que la *fig.* 101 représente le globe de la terre, dont les pôles soient les points A et B; l'un de ces pôles A est nommé le pôle *austral* ou *méridional*, ou aussi le pôle *antarctique*. L'autre pôle B est nommé *boréal* ou *septentrional*, ou bien le pôle *arctique;* c'est ce dernier qui est le plus proche des endroits que nous habitons.

Je remarque que ces deux pôles sont directement opposés l'un à l'autre; ou bien, si l'on tirait une ligne droite de l'un à l'autre AB, au dedans de la terre, elle passerait précisément par le milieu C, c'est-à-dire par le centre de la terre. Cette ligne droite AB porte aussi son nom et est nommée l'*axe de la terre,* qui, étant prolongé de part et d'autre jusqu'au ciel, y marquera les points qu'on nomme les pôles du ciel, et auxquels on donne les mêmes noms qu'à ceux de la terre.

1. Le rapport du plus petit au plus grand diamètre de ce sphéroïde est sensiblement celui de 298 à 299 : leur différence est donc la 299e partie du plus grand, c'est-à-dire un peu plus qu'un 300e. C'est la mesure de l'aplatissement.

Ces deux pôles de la terre ne sont pas une pure fiction, ni une spéculation des astronomes et des géographes; ils sont plutôt des points très-essentiels marqués sur la surface de notre terre : car nous savons que, plus on s'approche de ces deux points, plus les contrées deviennent rudes et froides; de sorte que les pays autour de ces points ne sont absolument pas habitables, à cause du froid excessif qui y règne pendant l'hiver : aussi ne trouve-t-on pas d'exemple qu'aucun voyageur ou aucun vaisseau ait pu parvenir jusqu'à l'un ou l'autre des pôles. On peut donc dire que ces deux endroits de la terre sont absolument inaccessibles.

Ayant ainsi déterminé les deux pôles de la terre A et B, on conçoit toute la terre partagée en deux hémisphères, comme DBE et DAE, dont chacune porte dans son sommet l'un des pôles. Pour cet effet il faut couper la terre par son centre C, de sorte que la section soit perpendiculaire à l'axe de la terre : cette section marquera sur la surface de la terre un cercle qui passe tout autour de la terre, et qui est partout également éloigné des deux pôles. Ce cercle, qui entoure la terre par son milieu, porte le nom d'*équateur;* les pays qui en sont près sont les plus chauds, et à cause de cela presque inhabitables, à ce que les anciens ont cru : mais aujourd'hui on les trouve assez habités, quoique la chaleur y soit presque insurmontable.

Or, en s'éloignant de l'équateur de part et d'autre vers les pôles, les contrées deviennent de plus en plus tempérées, jusqu'à ce que le froid devienne enfin insoutenable lorsqu'on s'approche trop des pôles.

Comme l'équateur partage la terre en deux hémisphères, chacun porte le nom du pôle qui s'y trouve. Ainsi la moitié DBE, qui contient le pôle boréal, est nommée l'*hémisphère boréal*, et c'est dans cet hémisphère qu'est située toute l'Europe, presque toute l'Asie, une partie de l'Afrique et la moitié de l'Amérique. L'autre hémisphère DAE est nommé l'*hémisphère méridional* ou *austral*, et il contient la plus grande partie de l'Afrique, l'autre moitié de l'Amérique, et plusieurs îles qu'on rapporte à l'Asie, comme Votre Altesse se souviendra l'avoir vu sur la mappemonde.

18 août 1761.

LETTRE XXIV.

De la grandeur de la terre, des méridiens, et du plus court chemin.

Après avoir bien fixé l'idée des pôles et de l'équateur de la terre, que Votre Altesse peut mieux s'imaginer sur un globe que je ne suis capable de le représenter par une figure, les autres idées dont nous avons besoin s'ensuivront aisément.

J'y dois cependant ajouter encore un plus grand éclaircissement. L'axe de la terre, passant d'un pôle à l'autre par le centre, est un diamètre du globe de la terre, et par conséquent est deux fois plus grand que le rayon; on estime le rayon de la terre ou la distance de chaque point de la surface au centre, de 860 milles d'Allemagne : donc l'axe de la terre contiendra 1720 milles d'Allemagne. Ensuite, l'équateur étant un cercle dont le centre est au centre de la terre, le rayon étant le même que celui de la terre, savoir, de 860 milles, le diamètre de l'équateur sera aussi de 1720 milles : toute la circonférence de l'équateur contiendra donc 5400 milles; ou bien, si l'on voulait faire le tour de la terre en suivant l'équateur, il faudrait faire un chemin de 5400 milles; d'où il est aisé de juger de la grandeur de la terre.

L'équateur étant un cercle, on le divise en 360 parties égales qu'on nomme *degrés;* ainsi un degré de l'équateur contient précisément 15 milles d'Allemagne, puisque 15 fois 360 font 5400.

Chaque degré est subdivisé outre cela en 60 parties égales qu'on nomme *minutes*, de sorte que chaque minute contient la quatrième partie d'un mille d'Allemagne, ou bien environ 6000 pieds; et une *seconde*, étant la soixantième partie d'une minute, contiendra 100 pieds [1].

Dans l'impossibilité de représenter sur le papier un globe autrement que par un cercle (*fig.* 102), Votre Altesse y suppléera par l'imagination. Ainsi B, A, étant les deux pôles de la terre, B le boréal, et A l'austral, DMNE représentera l'équateur, ou plutôt cette moitié qui est tournée vers nous, l'autre moitié de l'équateur nous étant cachée de l'autre côté.

Fig. 102.

La ligne DMNE nous représente donc un demi-cercle, aussi bien que BDA et BEA,

1. Le mètre étant la dix-millionième partie du quart du méridien terrestre, chaque méridien contient 40 millions de mètres: le degré vaut donc 111,111m, la mi-

tous ces demi-cercles ayant leurs centres au centre du globe C. On se peut encore imaginer une infinité d'autres demi-cercles, tous tirés par les deux pôles A et B de la terre, et passant par autant de points différents de l'équateur qu'il y a de demi-cercles différents, comme BMA, BNA; ceux-ci seront tous semblables aux premiers demi-cercles BDA et BEA. Quoique dans la figure leurs traits soient très-différents, l'imagination y doit suppléer, car sur un globe actuel la chose est très-évidente.

Tous ces demi-cercles tirés d'un pôle à l'autre, par quelque point de l'équateur qu'ils passent, sont nommés *méridiens*, ou bien un méridien n'est autre chose qu'un demi-cercle qui sur la surface de la terre est tiré d'un pôle à l'autre ; d'où Votre Altesse comprend que, prenant un lieu quelconque sur la surface de la terre, comme le point L, on peut toujours concevoir un méridien BLMA, qui, en passant par les deux pôles, traverse ce lieu L. C'est alors qu'on nomme ce méridien le méridien du lieu L. Si par exemple L était Berlin, le demi-cercle BLMA serait le méridien de Berlin; et ainsi de même par rapport à tous les autres lieux de la terre.

Votre Altesse n'a qu'à se représenter un globe sur la surface duquel sont dessinés tous les pays de la terre, le continent aussi bien que la mer avec ses îles. Un tel globe artificiel, qui ne saurait être inconnu à Votre Altesse, est nommé un globe terrestre.

Quant à tous les méridiens qu'on peut concevoir, et dont un grand nombre est effectivement tiré sur le globe, je remarque que chacun étant un demi-cercle, il est partagé par l'équateur en deux parties égales, dont chacune se trouve être un quart de cercle, c'est-à-dire un arc de 90 degrés. Ainsi BD, BM, BN, BE, sont des quarts de cercle aussi bien que AD, AM, AN, et AE; chacun contient donc 90 degrés : on y peut encore ajouter que chacun est perpendiculaire à l'équateur, faisant avec celui-ci des angles droits.

Je remarque de plus que, si l'on voulait voyager du point de l'équateur M jusqu'au pôle B, le plus court chemin serait de suivre la route du méridien MLB, qui étant un arc de 90 degrés, et un degré contenant 15 milles d'Allemagne, le chemin le plus court serait de 1350 milles d'Allemagne, qu'il faudrait parcourir pour aller de l'équateur jusqu'à l'un des pôles.

nute 1852^{m}, la seconde 31^{m}. Les nombres seraient un peu plus considérables pour les divisions correspondantes de l'équateur, à cause de l'excès du diamètre équatorial sur le diamètre polaire, excès qui est de 42612^{m}.

Votre Altesse se souviendra que le plus court chemin d'un lieu à l'autre est la ligne droite tirée par ces deux lieux : ici la ligne droite, tirée du point M de l'équateur jusqu'au pôle B, tomberait au dedans de la terre, route qu'il serait impossible de suivre, parce que nous sommes tellement attachés à la surface de la terre, que nous ne saurions nous en écarter. C'est par cette raison que la question devient bien différente quand il s'agit du plus court chemin sur la surface d'un globe qui conduit d'un endroit à l'autre. Ce plus court chemin sur un globe n'est plus une ligne droite, mais un arc de cercle tiré d'un endroit à l'autre sur sa surface, et dont le centre tombe précisément dans le centre du globe même. Cela est aussi parfaitement d'accord avec le cas dont il s'agit ici, car pour voyager du point M de l'équateur jusqu'au pôle B, l'arc du méridien MLB, que j'ai dit être le chemin le plus court, est effectivement un arc de cercle dont le centre se trouve au centre de la terre.

De même, si nous considérons le lieu L situé dans le méridien BLMA, le plus court chemin pour aller de ce lieu jusqu'au pôle B sera l'arc LB ; et sachant le nombre de degrés que cet arc contient, en comptant 15 milles pour chaque degré, on aura la longueur du chemin. Mais si l'on voulait aller de ce même lieu à l'équateur en prenant le plus court chemin, il faudrait suivre la route de l'arc du méridien LM, dont le nombre de degrés, en comptant 15 milles par degré, donnerait la longueur du chemin.

Au reste on se contente d'exprimer ces chemins par degrés, puisqu'il est si aisé de les réduire en milles d'Allemagne, et que d'autres nations se servent d'autres milles plus grands ou plus petits. Ainsi, prenant la ville de Berlin pour le lieu L, on trouve que l'arc LM qui conduit à l'équateur contient 52 degrés et demi; par conséquent, pour aller de Berlin à l'équateur, le plus court chemin est de 787 milles et demi. Mais si l'on voulait aller de Berlin au pôle boréal ou septentrional B, il faudrait suivre la route de l'arc BL, qui contenant 37 degrés et demi, fera 562 milles et demi. Ces deux chemins ensemble donnent 1350 milles pour la longueur de l'arc BLM, qui est un quart de cercle de 90 degrés, dont la valeur est, comme nous avons vu, de 1350 milles d'Allemagne.

22 août 1761.

LETTRE XXV.

De la latitude, et de l'influence qu'elle a sur les saisons et la longueur des jours.

Je commence encore par la même *fig.* 102 ou 103, qui sera déjà assez familière à Votre Altesse. Le cercle entier représente le globe de la terre; les points A et B, ses deux pôles; B, le pôle boréal, septentrional ou arctique; A, le pôle austral, méridional ou antarctique: de sorte que la droite BA, tirée au dedans de la terre et passant par son centre C, soit l'axe de la terre. Ensuite DME est l'équateur, qui divise la terre en deux hémisphères, l'un DBE boréal, et l'autre DAE méridional.

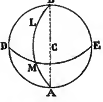


Fig. 102-103.

Considérons maintenant un lieu quelconque L, et tirons son méridien BLMA, qui, étant un demi-cercle, passe par ce lieu L et par les deux pôles B et A. C'est donc le méridien du lieu L qui est partagé par l'équateur en M en deux parties égales, étant deux quarts de cercle dont chacun contient 90 degrés. Je remarque ensuite que l'arc de ce méridien nous a donné la distance du lieu L à l'équateur, et que l'arc LB exprime la distance du même lieu L au pôle B.

Cela posé, il est bon de remarquer que l'arc LM, ou la distance de L à l'équateur, est nommé la *latitude* du lieu L; de sorte que la latitude d'un lieu sur la terre n'est autre chose que l'arc du méridien de ce lieu, qui est intercepté entre l'équateur et le lieu proposé; ou bien la latitude d'un lieu est la distance de ce lieu à l'équateur, en exprimant cette distance par degrés dont nous connaissons la valeur; sachant que chaque degré contient 15 milles d'Allemagne.

Votre Altesse comprend qu'il faut distinguer cette distance selon que le lieu se trouve ou dans l'hémisphère boréal ou dans l'hémisphère austral : dans le premier cas, si le lieu proposé est dans l'hémisphère boréal ou septentrional, on dit qu'il a une latitude boréale; mais s'il est dans l'autre hémisphère austral ou méridional, on dit que sa latitude est méridionale.

Ainsi, quand il est question de Berlin, on dit que sa latitude boréale est de 52 degrés et 31 minutes; de même, la latitude de Magdebourg est aussi boréale de 52 degrés et 19 minutes. Mais la latitude de Batavia aux Indes orientales est méridionale de 6 de-

grés 15 minutes; et celle du cap de Bonne-Espérance en Afrique est aussi méridionale de 34 degrés 15 minutes.

Je remarque ici en passant que, pour abréger, on met au lieu du mot *degré* un petit zéro (°) au-dessus du nombre, et, au lieu du mot *minute*, une petite barre (′); et s'il y a des *secondes*, on en met deux (″) : c'est ainsi que la latitude de Paris, à l'Observatoire, est 48° 50′ 10″ B, ce qui veut dire 48 degrés 50 minutes et 10 secondes, boréale. Au Pérou il y a un endroit nommé *Vlo*, dont on a trouvé la latitude 17° 36′ 15″ M, ou bien 17 degrés 36 minutes et 15 secondes, méridionale. D'où Votre Altesse comprend que si l'on parlait d'un lieu dont la latitude fût 0° 0′ 0″, ce lieu serait précisément sous l'équateur, puisque sa distance de l'équateur est zéro ou nulle, et ici il n'est pas nécessaire d'y ajouter la lettre B ou M. Mais si l'on parvenait à un lieu dont la latitude serait 90° B, ce lieu serait précisément le pôle boréal même de la terre, qui est éloigné de l'équateur d'un quart de cercle, ou de 90 degrés. De là, Votre Altesse entend parfaitement ce que c'est que la latitude d'un lieu, et pourquoi on l'exprime par degrés, minutes et secondes.

Il est très-important de connaître la latitude de chaque lieu, non-seulement pour la géographie, afin d'assigner à chacun sa juste place sur les cartes géographiques, mais c'est encore de la latitude que dépendent les saisons de l'année, l'inégalité des jours et des nuits, et par conséquent la température du lieu. Pour les endroits situés sous l'équateur même, il n'y a presque point de variation dans les saisons, et pendant toute l'année les jours et les nuits sont de même durée, savoir, de 12 heures; c'est pour cette raison que l'équateur est aussi nommé la *ligne équinoxiale :* mais plus on s'éloigne de l'équateur, plus aussi la différence entre les saisons de l'année devient marquée, et plus aussi les jours surpassent les nuits en été; tandis que réciproquement, en hiver, les jours sont d'autant plus courts que les nuits.

Votre Altesse sait que les plus longs jours sont au commencement de l'été, vers le 21 juin : conséquemment on a dans le même temps les nuits les plus courtes; et qu'au contraire, au commencement de l'hiver, vers le 23 décembre, les jours sont les plus courts et les nuits les plus longues : de manière que partout le plus long jour est égal à la plus longue nuit. Or en chaque lieu la durée du plus long jour dépend de la latitude du lieu. Ici, à Berlin, le plus long jour est de 16 heures 38 minutes; et par conséquent le plus court jour en hiver, de 7 heures 22 minutes. Aux endroits plus proches de l'équateur, ou dont la latitude est moindre que celle de Berlin, qui est 52° 31′, le plus long jour en été a moins de 16

heures 38 minutes; et en hiver le jour le plus court, plus de 7 heures 22 minutes. Le contraire arrive aux endroits plus éloignés de l'équateur : à Pétersbourg par exemple, dont la latitude est 60 degrés, le plus long jour est de 18 heures 30 minutes, et par conséquent la nuit n'est alors que de 5 heures 30 minutes; en hiver, au contraire, la nuit la plus longue y est de 18 heures 30 minutes, et le jour n'est alors que de 5 heures 30 minutes. Si on s'éloigne encore davantage de l'équateur, et qu'on parvienne à un lieu dont la latitude est de 60° 30′, le plus long jour y est précisément de 24 heures, ou bien le soleil ne s'y couche pas alors; tandis qu'en hiver le contraire arrive, le soleil ne s'y levant point du tout le 23 décembre, ou bien la nuit durant alors 24 heures. Or, dans les lieux encore plus éloignés de l'équateur, et conséquemment plus proches du pôle, comme par exemple Warthuys dans la Laponie suédoise, ce plus long jour de 24 heures y dure plusieurs jours de suite, pendant lesquels le soleil ne se couche absolument pas; et la plus longue nuit, où le soleil ne se lève point du tout, est de la même durée.

Si nous pouvions arriver au pôle même, nous y aurions du jour pendant 6 mois de suite, et pendant les six autres mois une nuit continuelle. De là Votre Altesse comprend combien il est important de bien connaître la latitude de tous les lieux de la terre.

22 août 1761.

LETTRE XXVI.

Des parallèles, du premier méridien, et des longitudes.

Ayant eu l'honneur de dire à Votre Altesse que, pour trouver le méridien d'un lieu proposé L (*fig.* 104), il faut tirer sur la surface de la terre un demi-cercle BLMA, qui passe par les deux pôles B et A, et par le lieu proposé L; je remarque qu'il y a une infinité d'autres endroits par lesquels ce même méridien passe, et qui par conséquent sont dits être tous situés sous le même méridien, soit dans l'hémisphère boréal entre B et M, soit dans l'hémisphère méridional ou austral entre M et A.

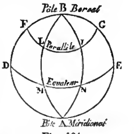


Fig. 104.

Or, tous les lieux situés sous un même méridien diffèrent par rapport à leur latitude, les uns étant plus

proches ou plus éloignés de l'équateur que les autres; c'est ainsi que le méridien de Berlin passe par la ville de Meissen, et à peu près par le port de Trieste, et par quantité d'autres lieux moins remarquables.

Ensuite Votre Altesse voit aussi qu'une infinité de lieux peuvent avoir la même latitude, ou être également éloignés de l'équateur; mais que tous ces lieux sont situés sous des méridiens différents. En effet, si L est la ville de Berlin, dont la latitude ou l'arc LM contient 52° 31′, on peut assigner, sous tout autre méridien BNA, un lieu I, dont la latitude ou l'arc IN est aussi 52° 31′; tels lieux sont aussi les points F et G pris dans les méridiens BDA et BEA. Comme donc on peut tirer par chaque point de l'équateur un méridien dans lequel il y aura un endroit dont la latitude sera la même que celle de Berlin ou du lieu L, on aura une infinité de lieux qui tous auront une même latitude. Tous ces lieux seront situés dans un cercle FLIG, qui ayant tous ses points également éloignés de l'équateur, est nommé un *cercle parallèle* à l'équateur, ou simplement un *parallèle*. Un parallèle sur la terre n'est donc autre chose qu'un cercle qui est parallèle à l'équateur, ou dont tous les points sont également éloignés de l'équateur : d'où il est clair que tous les points d'un parallèle sont aussi également éloignés des pôles de la terre.

Comme on peut tirer par chaque lieu de la terre un tel parallèle, on peut concevoir une infinité de parallèles qui tous diffèrent entre eux par rapport à la latitude, chacun ayant une latitude, soit boréale, soit australe, qui lui est propre.

Votre Altesse comprend aussi que plus la latitude est grande, ou plus on approche de l'un des pôles, plus les parallèles deviennent petits, jusqu'à ce qu'enfin aux pôles mêmes, où la latitude est de 90°, ces parallèles se réunissent dans un seul point. Mais, au contraire, plus on approche de l'équateur, ou plus la latitude est petite, plus aussi les parallèles sont grands; et ils se confondent enfin avec l'équateur même, lorsque la latitude est zéro ou nulle. C'est aussi par la latitude qu'on distingue ces parallèles : ainsi, le parallèle de 30 est celui qui passe par tous les lieux dont la latitude est de 30°; où l'on doit pourtant s'expliquer si l'on parle d'une latitude boréale ou d'une latitude méridionale.

En consultant les cartes géographiques, Votre Altesse verra que Hanovre est situé sous le même parallèle que Berlin; la latitude de l'un et de l'autre étant 50° 31′; et que de même les villes de Brunswick et d'Amsterdam tombent presque sous le même parallèle, mais que les méridiens qui passent par ces endroits sont différents.

Or, connaissant tant le méridien que le parallèle sous lequel un lieu est situé, on en connaît la véritable place sur la terre. Si l'on nous disait, par exemple, qu'un certain endroit est situé sous le méridien BNA et sous le parallèle FLG, on n'aurait qu'à voir où le méridien BNA est coupé par le parallèle FLG, et l'intersection I donnera la véritable place de l'endroit proposé.

C'est aussi de ce moyen que se servent les géographes pour déterminer la véritable position de tous les endroits de la terre. Il ne s'agit que d'en connaître le parallèle ou sa latitude, et le méridien qui lui répond. Pour le parallèle, il est aisé de le remarquer et de le distinguer de tous les autres parallèles; on n'a qu'à indiquer la latitude ou la distance de l'équateur, qui sera ou boréale ou méridionale. Mais comment pourra-t-on décrire un méridien et le distinguer de tous les autres? Tous les méridiens se ressemblent parfaitement, ils sont tous égaux entre eux, et aucun ne porte une marque essentielle préférablement aux autres. Il dépend donc uniquement de notre bon plaisir de choisir un certain méridien et de le fixer, pour en compter tous les autres. Si, par exemple, dans la figure citée au commencement de cette lettre, on choisissait le méridien BDA, il serait aisé de nous donner une description de tout autre méridien, comme BMA : on n'aurait qu'à nous indiquer dans l'équateur l'arc DM compris entre le méridien fixe BDA et celui dont il est question BMA, pourvu qu'on ajoute en quel sens on doit partir du méridien fixe pour passer à l'autre, si c'est vers l'orient ou vers l'occident.

On nomme ce méridien fixe, duquel on compte tous les autres, le *premier méridien;* et puisque le choix de ce premier méridien dépend de notre bon plaisir, Votre Altesse ne sera point surprise que les diverses nations ne sont pas d'accord là-dessus. Les Français ont choisi pour cet effet l'île de Fer, qui est une des îles Canaries, et c'est par cette île qu'ils tirent leur premier méridien. Les Allemands et les Hollandais font passer leur méridien par une autre île des Canaries, qui est nommée *Ténériffe.* Mais, soit qu'on suive les Français ou les Allemands, il faut toujours bien remarquer sur l'équateur le point par lequel le premier méridien passe; et de ce point on compte ensuite par degrés les points par lesquels passent tous les autres méridiens, et tant les Français que les Allemands sont d'accord de compter de l'occident vers l'orient.

Ainsi, si dans notre figure le demi-cercle BDA était le premier méridien, et que les points de l'équateur M et N fussent situés vers l'orient, pour marquer tout autre méridien BMA on n'a qu'à indiquer la grandeur de l'arc DM, et cet arc est ce qu'on nomme la

longitude de tous les lieux situés sous le méridien BMA. S'il était question des lieux situés sous le méridien BNA, leur longitude serait l'arc de l'équateur DN, exprimé en degrés, minutes et secondes.

29 août 1761.

LETTRE XXVII.

Du choix du premier méridien.

Votre Altesse sera maintenant parfaitement instruite sur ce qu'on nomme la latitude et la longitude d'un lieu sur la terre. La latitude se compte sur le méridien du lieu proposé jusqu'à l'équateur, ou bien elle est la distance du parallèle qui passe par le lieu proposé à l'équateur; où, pour ôter toute ambiguïté, il faut ajouter si cette distance ou latitude est boréale ou méridionale.

Pour la longitude, il faut voir combien le méridien du lieu proposé est éloigné du premier méridien; et on compte cet éloignement sur l'équateur depuis le premier méridien jusqu'au méridien proposé, en allant toujours de l'occident à l'orient : ou bien la longitude est la distance du méridien du lieu proposé depuis le premier, en comptant les degrés sur l'équateur, comme je viens de le dire.

On compte donc toujours du premier méridien vers l'orient, d'où Votre Altesse comprend que quand on aura compté jusqu'à 360 degrés, on retournera précisément au premier méridien, puisque 360 degrés achèvent toute la circonférence de l'équateur : donc, quand on parle d'un endroit dont la longitude serait de 359 degrés, le méridien de cet endroit ne sera éloigné du premier méridien que d'un degré, mais vers l'ouest ou l'occident; de même 350° de longitude conviennent avec une distance de 10° vers l'ouest ou l'occident. C'est donc pour éviter toute ambiguïté que, dans la détermination des longitudes, on continue de compter jusqu'à 360 degrés vers l'orient.

Votre Altesse sera sans doute curieuse de savoir pourquoi les géographes se sont accordés d'établir le premier méridien par quelqu'une des îles Canaries? A quoi j'ai l'honneur de répondre qu'on a voulu se régler sur les limites de l'Europe vers l'occident; et puisqu'on regarde les îles Canaries (situées dans la mer Atlantique au delà de l'Espagne vers l'Amérique) comme faisant encore partie de l'Europe, on a jugé à propos de faire passer le premier

méridien par la plus reculée des îles Canaries afin qu'on puisse compter les autres méridiens sans interruption, non-seulement par toute l'Europe, mais aussi par toute l'Asie : d'où, en continuant de compter vers l'orient, on parvient en Amérique, et de là on retourne enfin au premier méridien.

Mais à quelle de ces îles Canaries donner la préférence? Quelques géographes français ont choisi l'île de Fer, et les Allemands celle de Ténériffe; parce qu'on n'était pas alors assez bien informé sur la véritable situation de ces îles, et qu'on ne savait peut-être pas laquelle était la plus reculée : d'ailleurs les Allemands ont cru que la haute montagne nommée *pic de Ténériffe* était, pour ainsi dire, marquée par la nature pour y faire passer le premier méridien.

Quoi qu'il en soit, il est presque ridicule de faire passer le premier méridien par un endroit dont la situation n'est pas bien connue; car ce n'est que depuis peu de temps qu'on a mieux déterminé la position des îles Canaries. Pour cette raison, les astronomes, qui emploient plus d'exactitude dans leurs recherches, placent le premier méridien de façon que le méridien de Paris à l'Observatoire en soit précisément éloigné de 20 degrés; sans se soucier par quel endroit passe alors le premier méridien. C'est sans doute le plus sûr parti qu'on puisse prendre; et, pour bien déterminer tout autre méridien, le meilleur moyen est d'en chercher l'éloignement de celui de Paris : alors, si cet autre méridien est plus vers l'orient, on n'a qu'à y ajouter 20 degrés pour avoir la longitude des lieux qui y sont situés; mais si ce méridien est plus vers l'occident que celui de Paris, on soustrait leur distance de 20 degrés; enfin, si cette distance vers l'occident est plus grande que 20 degrés, on la soustrait de 380 degrés, ou de 20 degrés au delà des 360, pour avoir la longitude du méridien.

Ainsi, le méridien de Berlin étant plus vers l'orient que celui de Paris de 11° 7′ 15″, la longitude de Berlin sera 31° 7′ 15″; et c'est aussi la longitude de tous les autres lieux qui sont situés sous le même méridien que Berlin.

De même, le méridien de Pétersbourg étant plus vers l'orient de 28 degrés que celui de Paris, la longitude de Pétersbourg sera 48°.

Le méridien de Londres à Saint-James est plus vers l'occident que celui de Paris de 2° 25′ 15″ : donc, en ôtant cette quantité de 20°, le reste 17° 34′ 45″ donne la longitude de Londres à Saint-James.

Considérons aussi la ville de Lima au Pérou, dont le méridien

est éloigné de celui de Paris de 70° 9′ 30″ vers l'occident, qu'il faut par conséquent soustraire de 380°; et l'on trouvera la longitude de Lima : 309° 50′ 30″.

Or, quand on connaît tant la latitude que la longitude d'un endroit, on est en état de marquer son vrai lieu sur un globe terrestre ou sur une carte géographique; car comme la latitude marque le parallèle sous lequel l'endroit est situé, et que la longitude donne le méridien du même lieu, l'endroit où le parallèle coupe le méridien sera exactement le lieu proposé.

Votre Altesse n'a qu'à jeter aussi les yeux sur une carte géographique, par exemple sur celle de l'Europe : elle verra aux deux côtés les degrés des parallèles marqués, ou leurs distances de l'équateur, et en haut et en bas les degrés de longitude, ou les éloignements des méridiens du premier méridien.

Ordinairement on trace sur les cartes tant les parallèles que les méridiens, ou de degré en degré, ou seulement de 5 degrés en 5 degrés. Dans la plupart des cartes, les méridiens sont tirés de haut en bas et les parallèles de gauche à droite, ou le haut est dirigé vers le nord, le bas vers le sud ou le midi; le côté droit vers l'orient ou l'est, et le côté gauche vers l'occident ou l'ouest.

Ensuite il faut aussi remarquer que, puisque tous les méridiens concourent dans les deux pôles, plus deux méridiens approchent d'un pôle, plus leur distance sera petite; c'est toujours sous l'équateur que la distance entre deux méridiens est la plus grande. Aussi sur toutes les bonnes cartes où les méridiens sont tracés, Votre Altesse verra qu'ils s'approchent toujours vers le haut ou vers le nord, et que leurs distances deviennent plus grandes en bas, c'est-à-dire en s'approchant de l'équateur : ce qui sert à une meilleure intelligence des cartes géographiques, par lesquelles on tâche de nous représenter la surface ou une partie de la surface du globe de la terre.

Mais mon but principal est de faire voir comment la véritable position de chaque lieu de la terre est déterminée par sa latitude et sa longitude.

1er septembre 1761.

LETTRE XXVIII.

Sur la méthode de déterminer la latitude ou l'élévation du pôle.

Puisqu'il est si important de connaître tant la latitude que la longitude de chaque lieu pour savoir à quel point on se trouve sur la surface de la terre, Votre Altesse jugera aisément qu'il est aussi important de découvrir les moyens propres à nous conduire à cette connaissance.

En effet, si un homme après un long voyage arrive à un endroit, soit sur terre, soit sur mer, rien ne saurait être plus intéressant pour lui que d'apprendre en quel lieu de la terre il se trouve alors, s'il est proche de quelque pays connu ou non, et quel chemin il faut prendre pour y arriver. Le seul moyen de tirer cet homme de son embarras sera sans doute de lui découvrir la latitude et la longitude du lieu où il se trouve; mais de quel moyen doit-il se servir pour parvenir à cette découverte, supposé qu'il est ou sur mer ou sur terre dans quelque vaste désert où il n'y a nul habitant qu'il puisse consulter? Or, s'étant assuré de la latitude et de la longitude de son lieu, moyennant un globe terrestre ou des cartes géographiques, il y marquera aisément le point de sa demeure, d'où il sera en état de tirer tous les éclaircissements dont il a besoin.

Je ferai voir à Votre Altesse que c'est principalement l'astronomie qui nous fournit les moyens de connaître tant la latitude que la longitude du lieu où nous nous trouvons: mais, pour ne pas ennuyer Votre Altesse par un long détail de toutes les méthodes que les astronomes ont découvertes pour cet important dessein, je me contenterai de lui en présenter une idée générale; et j'ose me flatter que, de la manière que je m'y prendrai, cette idée sera suffisante pour faire comprendre à Votre Altesse les principes sur lesquels toutes les méthodes sont fondées.

Je commencerai par la recherche de la latitude, qui n'est presque assujettie à aucune difficulté, pendant que celle de la longitude semble encore surpasser la portée de l'esprit humain, surtout lorsqu'on se trouve en mer et qu'on y exige la dernière précision: c'est aussi pour cette raison qu'on a mis sur la recherche de la longitude des prix des plus considérables, pour mieux encourager les savants à réunir leur capacité et leurs travaux, afin qu'une découverte aussi importante que celle-ci devienne doublement inté-

ressante et par l'honneur et par le gain qu'elle procurera à l'inventeur.

Je reviens à la latitude et aux moyens de la découvrir, remettant à un autre temps de parler plus amplement de la longitude et des différentes méthodes de la découvrir, surtout en voyageant par mer.

Que dans la *fig.* 105 les points B et A soient les pôles de la terre, BA son axe, et C son centre ; que le demi-cercle BDA représente un méridien coupé par l'équateur au point D, et BD, AD seront des quarts de cercle ou des arcs de 90 degrés. La ligne droite CD sera donc un rayon de l'équateur, et DE son diamètre.

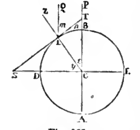


Fig. 105.

Soit maintenant dans ce méridien BDA le point L, le lieu proposé dont il faille chercher la latitude, ou bien le nombre de degrés que contient l'arc LD, qui mesure la distance du point L à l'équateur; ou encore, tirant le rayon CL, puisque l'arc LD est la mesure de l'angle DCL, que je nommerai *y*, cet angle *y* exprimera la latitude du lieu L qu'il s'agit de trouver.

Or, comme il ne nous est pas permis d'entrer au centre de la terre pour y mesurer cet angle, il faut recourir au ciel. C'est là où la prolongation de l'axe de la terre AB mène au point boréal du ciel P, qu'on doit regarder comme infiniment éloigné de la terre. Qu'on prolonge aussi le rayon LC qui aboutira dans le ciel au point Z, qu'on nomme le zénith du lieu; ensuite tirant par L la ligne droite ST perpendiculaire au rayon CL, Votre Altesse se souviendra que cette ligne ST est une tangente du cercle, et qu'elle sera par conséquent horizontale au lieu L, notre horizon touchant toujours la surface de la terre au lieu où nous nous trouvons.

Qu'on regarde maintenant en L vers le pôle du ciel P, lequel étant infiniment éloigné, la droite LQ qui y est dirigée sera parallèle à la ligne ABP, ou à l'axe de la terre : ce pôle du ciel paraîtra donc entre le zénith et l'horizon LT; et l'angle TLQ, indiqué par la lettre *m*, montrera combien la droite LQ, dirigée au pôle, est élevée au-dessus de l'horizon, d'où cet angle *m* est nommé l'*élévation du pôle*.

Votre Altesse a déjà sans doute assez souvent entendu parler de l'élévation du pôle, qu'on nomme aussi la *hauteur du pôle*, et qui n'est autre chose que l'angle que la ligne droite LQ, dirigée vers le pôle du ciel, fait avec l'horizon du lieu où nous sommes. Votre

Altesse comprend aussi aisément la possibilité d'observer cet angle *m* par le moyen d'un certain instrument astronomique propre à ce dessein, sans que j'aie besoin d'entrer dans un plus grand détail là-dessus.

Cela posé, j'ai l'honneur d'assurer Votre Altesse que quand on aura mesuré cet angle *m*, ou la hauteur du pôle, ce même angle nous donnera précisément la latitude du lieu L, ou bien l'angle *y*. Pour cet effet, il ne s'agit que de faire voir que ces deux angles *m* et *y* sont égaux entre eux.

D'abord la ligne LQ étant parallèle à CP, les angles *m* et *n* sont alternes, et conséquemment égaux entre eux. Ensuite la ligne LT étant perpendiculaire au rayon CL, l'angle L du triangle CLT sera droit, et les deux autres angles *n* et *x* de ce même triangle feront ensemble aussi un angle droit. Mais, puisque l'arc BD est un quart de cercle, l'angle BCD sera aussi droit; les deux angles *x* et *y* font donc autant, étant ajoutés ensemble, que les deux angles *n* et *x*. Otons de part et d'autre l'angle *x*, alors l'angle *y* sera égal à l'angle *n*, et par conséquent aussi égal à l'angle *m*.

Mais j'ai déjà fait remarquer que l'angle *y* exprime la latitude du lieu L, et l'angle *m* l'élévation ou la hauteur du pôle au même endroit L; donc la latitude d'un endroit est toujours égale à la hauteur du pôle à ce même endroit. Donc les moyens que l'astronomie nous fournit pour observer la hauteur du pôle nous donnent la latitude que nous cherchons [1].

C'est ainsi que les observations astronomiques faites à Berlin nous ont appris que la hauteur du pôle y est 52° 31′, et de là nous avons tiré la conséquence que la latitude de Berlin est aussi 52° 31′.

C'est un exemple bien remarquable comment le ciel nous peut éclaircir sur des choses qui ne se rapportent qu'à la terre.

1. En mer, au lieu de prendre la hauteur du pôle, on prend celle du soleil à son passage au méridien de la station. Alors au moyen des tables qui donnent pour chaque jour, à midi, la distance de cet astre à l'équateur et par suite au pôle, il est facile, à l'aide d'une simple addition ou soustraction, d'évaluer la hauteur du pôle ou la latitude du lieu de l'observation.

Pour mesurer la hauteur du soleil on se sert ordinairement d'un instrument appelé *sextant*, qui permet d'observer malgré les oscillations du vaisseau.

6 septembre 1761.

LETTRE XXIX.

Premier moyen de parvenir à la connaissance des longitudes, par l'estime du chemin parcouru.

Je passe maintenant à la considération de la longitude, et je remarque qu'en partant d'un lieu connu tant par mer que par terre, on pourra aisément trouver la longitude du lieu où l'on sera parvenu, pourvu qu'on connaisse exactement la longueur du chemin et la route qu'on a tenue; la longitude dans ce cas peut même se trouver sans le secours de l'astronomie, et cela mérite bien que je l'explique plus distinctement à Votre Altesse.

Pour la longueur du chemin, on la mesure par pieds; on sait ensuite combien de pieds font un mille, et combien de milles il faut pour un arc qui contient un degré sur la terre : c'est ainsi qu'on pourra exprimer par degrés le chemin qu'on aura fait.

Pour la route ou la direction du chemin, il faut bien connaître la position du méridien à chaque lieu où l'on se trouve. Comme le méridien va d'un côté au pôle boréal, ou vers le nord, et de l'autre côté au pôle méridional, ou vers le sud, on n'a qu'à tirer, sur l'horizon où l'on se trouve, une ligne droite du nord vers le sud, qu'on nomme la *ligne méridienne* de ce lieu. Il faut se donner toutes les peines possibles pour tracer bien exactement cette ligne méridienne, et c'est en quoi le ciel nous doit encore servir de guide.

Votre Altesse sait qu'il est midi quand le soleil se trouve le plus élevé au-dessus de l'horizon; or, c'est alors que le soleil se trouve précisément vers le sud, et l'ombre d'un bâton fixé perpendiculairement sur un plan horizontal tombera alors précisément vers le nord; d'où il est aisé de comprendre comment les observations du soleil nous fournissent les moyens de bien tracer la ligne méridienne, en quelque lieu que nous nous trouvions.

Or, ayant tracé la ligne méridienne, toutes les autres directions ou routes sont aisément déterminées.

Soit dans la *fig.* 106 la ligne droite NS la méridienne, l'extrémité N étant dirigée vers le nord, et le bout S vers le sud. A cette méridienne NS, qu'on tire perpendiculairement la droite OE, dont l'extrémité E sera dirigée vers l'orient ou l'*est*, et l'autre extrémité O vers l'occident ou l'*ouest*. Maintenant, après avoir divisé le cercle en seize parties égales, on aura autant de directions nommées par les lettres y jointes; et, en cas qu'on suive une

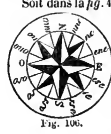


Fig. 106.

route qui ne convienne pas exactement avec une de ces seize, on marque l'angle qu'elle fait avec la méridienne NS, ou avec la ligne OE qui lui est perpendiculaire.

C'est par ce moyen qu'on pourra exactement connaître la route qu'on tient en voyageant; et toutes les fois qu'on est bien assuré tant de la longueur du chemin que de la route qu'on aura suivie, il est fort aisé de déterminer le vrai lieu où l'on sera parvenu, et d'en assigner même tant la latitude que la longitude. Pour cet effet on se servira d'une bonne carte géographique, dont l'étendue doit être si grande qu'elle contienne tant le lieu d'où l'on est parti que celui où l'on est arrivé; et sur cette carte on pourra tirer le chemin qu'on aura parcouru, moyennant l'échelle qui marque la grandeur d'un mille dans cette carte.

La *fig.* 107 représente une telle carte, où sont marqués, de degré en degré, tant les parallèles de gauche à droite que les méridiens de haut en bas; et où l'on verra aussi que les méridiens sont plus proches les uns des autres en haut vers le nord qu'en bas vers le sud, comme cela arrive actuellement sur la terre.

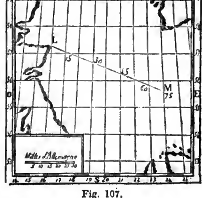


Fig. 107.

Cette carte renferme une partie de la surface de la terre depuis 53 degrés de latitude boréale jusqu'au 59e degré, et depuis 13 degrés de longitude jusqu'au 26e degré.

Supposons maintenant qu'on soit parti du lieu L, dont la longitude est 16° et la latitude 57° 20′, et qu'on ait tenu la route *est-sud-est*, sur laquelle on ait parcouru un chemin de 75 milles d'Allemagne. Pour trouver la longitude et la latitude du lieu où l'on sera parvenu, soit tirée du lieu L la droite LM qui fasse avec le méridien 16-16 le même angle que fait dans la figure précédente la direction *ese* avec NS. Ensuite sur cette ligne qu'on prenne, selon l'échelle marquée dans la carte, LM de 75 milles d'Allemagne, et le point M sera le lieu où l'on sera parvenu.

A présent on n'a qu'à comparer ce lieu avec les méridiens et les parallèles tracés sur la carte, et on verra que sa longitude tombe très-près du 24e degré; et en mesurant plus exactement la partie du degré à ajouter au 24e degré, on trouvera la longitude

du point M de 24° 4′. Pour la latitude, on voit qu'elle se trouve entre le 55e et le 56e degré, et on l'estimera aisément de 55° 25′; de sorte que du lieu M, où l'on est parvenu, la latitude est 55° 25′, et la longitude 24° 4′.

Ici, j'ai supposé qu'on a suivi pendant tout le voyage la même route marquée *ese;* mais si l'on changeait de route de temps en temps, on n'aurait qu'à faire pour chaque changement la même opération pour trouver le lieu où l'on a été alors; et ensuite de ce lieu on tracera la route suivante, jusqu'à ce qu'on l'ait changée de nouveau; et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'on arrive au dernier endroit. Par ce moyen, on sera toujours en état, dans les voyages, de connaître les lieux où l'on arrive, pourvu qu'on sache toujours exactement la route qu'on tient, et qu'on mesure aussi exactement le chemin qu'on parcourt.

Dans ce cas, on pourrait même se passer des secours tirés de l'astronomie : à moins qu'on n'en eût besoin pour connaître au juste la route ou l'angle qu'elle fait avec la méridienne; mais l'aiguille aimantée ou la boussole peut souvent suppléer à ce besoin.

Votre Altesse comprendra cependant aisément qu'on peut se tromper bien considérablement dans l'estime de la route et de la longueur du chemin, surtout dans les voyages fort longs. Quand je vais seulement à Magdebourg, combien de fois ne change-je point de route! et comment mesurerai-je exactement la longueur du chemin? Mais quand le voyage se fait par terre, on n'est pas réduit à cet expédient; on est alors en état de mesurer, par des opérations géométriques, les distances des lieux et les angles que ces distances font avec la méridienne de chaque endroit, et c'est par ce moyen qu'on détermine assez exactement la véritable situation de tous les lieux.

8 septembre 1761.

LETTRE XXX.

Continuation de la lettre précédente, et des défauts de cette première méthode.

Dans les voyages par mer la méthode indiquée, d'observer tant la route qu'on tient que la longueur du chemin parcouru, semble être d'un très-grand secours, parce qu'on n'y est pas obligé de changer de route à tout moment, comme il arrive lorsqu'on voyage par terre; car tant qu'on a le même vent, on peut poursuivre la même route.

Aussi les pilotes qui dirigent les vaisseaux sont très-attentifs à observer exactement la route que le vaisseau tient, et à mesurer le chemin qu'il parcourt; ils tiennent un journal exact de toutes ces observations; et à la fin de chaque jour, ou encore plus souvent, ils tracent sur leurs cartes marines, qui représentent l'étendue de la mer, le chemin qu'ils ont parcouru, et sont, par ce moyen, en état de marquer sur les cartes, pour chaque temps, le point où ils se trouvent, et dont ils connaissent par conséquent tant la latitude que la longitude. Aussi, tant que le cours se fait régulièrement, et que le vaisseau n'est pas trop agité par quelque tempête, les pilotes ne s'y trompent pas beaucoup; mais quand ils ont raison de se méfier, ils ont recours aux observations astronomiques, d'où ils concluent la hauteur du pôle, laquelle étant toujours égale à la latitude du lieu où ils se trouvent, ils la comparent avec celle qu'ils ont marquée sur la carte, conformément à l'estime du chemin. S'ils la trouvent d'accord, c'est une preuve que leur estime est juste; s'ils découvrent quelque différence, ils en concluent avec sûreté qu'ils se sont trompés dans l'estime du chemin et de la route: ils examinent alors l'un et l'autre plus soigneusement, et ils tâchent d'y rapporter les justes corrections, pour accorder l'estime avec l'observation de la hauteur du pôle, ou de la latitude qui lui est égale.

Dans de petits voyages cette précaution peut être suffisante, parce que les erreurs qu'on y commet n'y sont presque d'aucune conséquence; mais, dans de longs voyages, ces petites erreurs peuvent s'accumuler au point qu'à la fin on se trompe très-grossièrement, de manière que le lieu où l'on se trouve effectivement diffère considérablement de celui où l'on s'imagine se trouver sur la carte.

Jusqu'ici j'ai supposé que le voyage se fait assez paisiblement : qu'on s'imagine maintenant qu'il survient une grosse tempête, pendant laquelle le vaisseau est assujetti aux plus fortes secousses tant du vent que des flots; alors il est bien clair que toute l'estime de la longueur et de la route du chemin est entièrement dérangée, et qu'il n'est absolument plus possible de tracer sur la carte le chemin qu'on aura parcouru.

On pourrait bien, après un tel dérangement, déterminer par des observations astronomiques la latitude du lieu où l'on se trouve; mais cela ne découvrirait que le parallèle de ce lieu, et on resterait encore toujours très-incertain sur le point de ce parallèle qui répond au lieu du vaisseau.

Tout revient donc à reconnaître aussi la longitude de ce lieu,

qui nous montre le méridien sous lequel il est situé; et alors l'intersection de ce méridien avec le parallèle trouvé donnera le véritable endroit du vaisseau. Votre Altesse comprend par là combien il est important de mettre les pilotes en état de découvrir aussi la longitude du lieu où ils se trouvent.

Or, ce ne sont pas non-seulement les tempêtes qui nous mettent dans cette nécessité; même lorsque le voyage se fait paisiblement, on peut se tromper très-grossièrement dans l'estime tant de la route que de la longueur du chemin. Si l'on pouvait supposer que la mer fût en repos, alors on aurait bien des moyens de s'assurer assez exactement de la route et de la longueur du chemin, quoiqu'en des voyages de long cours cela pourrait causer des aberrations très-considérables. Mais il n'est que trop certain que la mer a en plusieurs endroits de rapides courants, de sorte qu'elle ressemble à une rivière qui court suivant une certaine direction. C'est ainsi qu'on a observé que la mer Atlantique coule continuellement par le détroit de Gibraltar dans la Méditerranée; et le grand océan Atlantique, entre l'Afrique et l'Amérique, a un courant très-considérable de l'orient vers l'occident : de sorte qu'on va beaucoup plus promptement de l'Europe en Amérique qu'on n'en revient.

Si ces courants étaient constants et connus, ce serait un grand secours pour y régler notre estime; mais on a observé qu'ils sont tantôt plus, tantôt moins rapides, et qu'ils changent souvent de direction : ce qui dérange tellement l'estime des plus habiles pilotes, qu'on ne saurait plus s'y fier sans s'exposer au plus grand danger. On n'a que trop d'exemples que des vaisseaux ont cru être encore fort éloignés des endroits remplis d'écueils cachés sous la mer, lorsqu'ils y sont échoués et péris. Ensuite on s'est aperçu que les courants de la mer avaient causé ces malheurs, en tant que l'estime des pilotes en a été dérangée.

En effet, lorsque la mer elle-même a un mouvement dont elle coule comme une rivière, suivant une certaine direction, les vaisseaux qui s'y trouvent en sont emportés sans qu'il soit possible de s'en apercevoir. Quand on est emporté par une rivière, on s'en aperçoit aisément en regardant le rivage, ou bien le fond de la rivière; mais en mer on ne voit aucune terre, et la profondeur en est aussi trop grande pour en pouvoir voir le fond. Il n'y a donc pas moyen de s'apercevoir sur mer si l'on en est emporté; et c'est par cette raison qu'on se trompe très-grossièrement, tant dans la route que dans la longueur du chemin. Soit donc qu'on ait égard aux tempêtes ou non, on est toujours obligé de chercher d'autres moyens pour déterminer la longitude des lieux où l'on parvient; et

c'est sur les divers moyens qu'on a proposés jusqu'ici pour parvenir à cette connaissance de la longitude, que j'aurai l'honneur d'entretenir Votre Altesse.

12 septembre 1761.

LETTRE XXXI.

Deuxième méthode de déterminer les longitudes, par le moyen d'une horloge exacte.

Un moyen très-sûr de trouver la longitude serait une horloge, ou montre, ou pendule si parfaite, c'est-à-dire qui marcherait toujours si également et si exactement, qu'aucune secousse qu'elle éprouverait en voyageant ne serait capable d'en altérer le mouvement.

Supposons qu'on soit parvenu à exécuter une telle horloge, et faisons voir comment, par son moyen, on serait en état de résoudre le problème des longitudes. Pour cet effet, je dois retourner à la considération des méridiens qu'on conçoit être tirés par tous les lieux de la terre.

Votre Altesse sait que le soleil fait tous les jours un tour autour de la terre, et qu'il passe par conséquent successivement au-dessus de tous les méridiens dans le temps de vingt-quatre heures.

Or, on dit que le soleil passe au-dessus, ou par un certain méridien, si la ligne droite tirée du soleil au centre de la terre C (*fig.* 108) passe précisément par ce méridien. Ainsi, si à présent la ligne tirée du soleil au centre de la terre passait par le méridien BLMA, on dirait que le soleil passe par ce méridien, et alors il serait midi en tous les lieux situés sous ce méridien; mais sous tout autre méridien il ne serait pas midi dans ce même moment, il serait donc ou avant ou après midi.

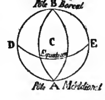


Fig. 108.

Si le méridien BNA est situé plus vers l'orient que le méridien BMA, le soleil, en faisant son tour de l'orient à l'occident, passera par le méridien BNA avant que de parvenir au méridien BMA; il sera donc plus tôt midi sous le méridien BNA que sous le méridien BMA : par conséquent, lorsqu'il sera mid sous ce dernier méridien, le midi sera déjà passé sous tout autre méridien situé vers l'orient, ou il sera déjà après midi. Au contraire, il sera encore avant midi sous tout méridien BDA situé plus vers l'occi-

dent, parce que le soleil n'y parvient qu'après avoir déjà passé par le méridien BMA.

Ensuite, comme le mouvement du soleil se fait uniformément, et qu'il achève le tour entier de la terre, c'est-à-dire 360 degrés, en vingt-quatre heures, il parcourra chaque heure un arc de 15 degrés. Donc, lorsqu'il est midi ici à Berlin et à tout autre lieu situé sous ce même méridien, le midi sera déjà passé sous les méridiens situés plus vers l'orient; et en particulier, sous le méridien éloigné vers l'orient de 15 degrés de celui de Berlin, il sera déjà une heure; sous le méridien éloigné de 30 degrés, deux heures; sous le méridien éloigné do 45 degrés, trois heures après midi, et ainsi de suite. Le contraire arrivera aux lieux situés sous des méridiens plus occidentaux que celui de Berlin; et s'il est midi ici, il ne sera que 11 heures avant midi sous le méridien éloigné de 15 degrés; 10 heures avant midi sous le méridien éloigné de 30 degrés; 9 heures avant midi sous le méridien éloigné de 45 degrés vers l'occident, et ainsi de suite, une différence de 15 degrés entre les méridiens produisant toujours une heure de différence dans le temps.

Pour éclaircir encore mieux ce que nous venons de dire, considérons les deux villes de Berlin et de Paris; et puisque le méridien de Berlin est de 11° 7′ 15″ plus vers l'orient que celui de Paris, en comptant une heure pour 15 degrés, cette différence de 11° 7′ 15″ donnera 44′ 29″ de temps, à peu près trois quarts d'heure. Donc, lorsqu'il est midi à Paris, il y aura à Berlin déjà 44′ 29″ après midi; et réciproquement, lorsqu'il est midi ici à Berlin, il sera encore avant midi à Paris, où l'horloge ne montrera que 11^h 15′ 31″: de sorte que le midi n'y arrivera qu'après 44′ 29″ de temps. D'où l'on voit qu'à chaque moment les horloges de Berlin doivent montrer plus qu'elles ne font à Paris, et que cette différence doit faire 44 29″ de temps.

La différence entre les méridiens de Berlin et de Magdebourg est de 1° 14′, dont Berlin est plus oriental que Magdebourg; cette différence, réduite en temps, donne 6′ 40″ que les horloges de Berlin doivent marquer plus que celles de Magdebourg. Par conséquent, s'il est midi à Magdebourg, ou si les horloges, que je suppose être bien réglées, y marquent 12 heures, les horloges de Berlin doivent marquer au même instant 12^h 6′ 40″, de sorte qu'il y fasse déjà après midi.

Votre Altesse voit de là qu'à mesure que les lieux diffèrent en longitude ou qu'ils sont situés sous des méridiens différents, les horloges bien réglées y doivent aussi marquer des heures différentes

au même instant; et que cette différence doit être d'une heure entière, lorsque la différence en longitude est de 15 degrés: chaque 15 degrés en longitude produisant une heure de temps pour la différence que des horloges bien réglées doivent marquer dans ces différents endroits au même moment.

Si l'on voulait donc se servir d'une horloge pour trouver la longitude des endroits par lesquels on passe, il faut d'abord la bien régler, en quelque endroit qu'on se trouve : ce règlement se fait sur l'observation du midi, qui est le moment où le soleil passe par le méridien de ce lieu, et alors l'horloge doit montrer précisément 12 heures. Ensuite l'horloge doit être tellement ajustée, que toujours après vingt-quatre heures, lorsque le soleil retourne au même méridien, l'indice, après avoir fait deux tours entiers, revienne exactement sur 12 heures. Si cela est bien observé, de telles horloges bien réglées ne seront d'accord en différents endroits que lorsqu'ils sont situés sous un même méridien; mais lorsqu'ils sont situés sous des méridiens différents, ou qu'il y a une différence entre leurs longitudes, les temps que les horloges marqueront au même moment seront aussi différents, en sorte qu'à chaque différence de 15 degrés en longitude il réponde une heure entière de différence dans les temps marqués par les horloges.

Donc, réciproquement, en connaissant cette différence entre les temps que des horloges bien réglées marquent en différents endroits au même instant, on en conclura aisément la différence qui se trouve entre leurs longitudes, en comptant toujours 15 degrés pour une heure, et un quart de degré pour une minute.

15 septembre 1761.

LETTRE XXXII.

Continuation de la lettre précédente, et éclaircissements ultérieurs.

Votre Altesse sera d'autant moins surprise de la différence du temps que les horloges bien réglées doivent indiquer sous différents méridiens, quand elle voudra bien réfléchir que, lorsqu'il est midi chez nous, il y a des pays vers l'orient où le soleil se couche déjà, et que vers l'occident il y en a où le soleil ne fait que de se lever : il faut donc bien qu'auprès de ceux-là il soit déjà soir, tandis qu'auprès de ceux-ci il est encore matin, et que ceci soit au même instant qu'il est midi chez nous. Ensuite, Votre Altesse sait aussi

que chez nos antipodes, qui se trouvent sous le méridien opposé au nôtre, il fait nuit pendant qu'il fait jour chez nous; de sorte que, lorsqu'il est midi chez nous, il sera minuit chez eux.

Après ces éclaircissements il me sera aisé de faire voir comment une bonne horloge peut servir à nous faire connaître la différence des méridiens, ou bien la différence en longitude de divers endroits.

Supposons, pour cet effet, que j'aie une telle excellente horloge [1] qui, étant une fois bien réglée, montre tous les jours exactement le temps juste qu'il fait ici à Berlin, de sorte que, toutes les fois qu'il est midi à Berlin, elle indique précisément 12 heures; supposons encore qu'elle marche si régulièrement, que je n'aie plus besoin d'y toucher après l'avoir réglée une fois; enfin, que sa marche ne soit point dérangée, soit que je la mette dans une voiture, soit qu'elle soit à bord d'un vaisseau en pleine mer, exposée à des secousses et à toutes sortes d'agitations.

Maintenant, que je fasse avec cette horloge un voyage soit par terre, soit par mer, et étant parfaitement assuré que cette horloge conserve toujours le même mouvement, tout comme si j'étais resté à Berlin, elle me marquera chaque jour 12 heures au même moment qu'il fait midi à Berlin, et cela en quelque lieu que je puisse me trouver. Dans ce voyage, j'arrive d'abord à Magdebourg; j'y observe le soleil lorsqu'il passe par le méridien, ce qui arrive lorsqu'il se trouve exactement vers le sud; et puisque dans ce moment il fait midi à Magdebourg, je regarde mon horloge, et je m'aperçois qu'elle montre alors $12^h\ 6'\ 40''$; d'où je conclus que quand il est midi à Magdebourg il est déjà après midi à Berlin, et que la différence est $6'\ 40''$ de temps, qui répondent à $1^\circ\ 40'$ dont le méridien de Magdebourg est plus vers l'occident que celui de Berlin. Donc, puisque la longitude de Berlin est $31^\circ\ 7'\ 15''$, la longitude de Magdebourg sera de $1^\circ\ 40'$ plus petite, ou bien elle sera $29^\circ\ 27'\ 15''$.

1. Une horloge qui serait réglée sur le soleil, ne pourrait demeurer d'accord avec cet astre; parce que les jours solaires ne sont pas d'égale durée pendant toute l'année, ou, en d'autres termes, parce qu'il n'y a pas le même intervalle de temps entre deux passages consécutifs du soleil au méridien. Cette variation tient à deux causes distinctes : 1° l'inégalité du mouvement angulaire du soleil sur son orbite apparente autour de la terre; 2° l'inclinaison de cette orbite sur l'équateur, qui est de 23° 28' environ. C'est pourquoi les astronomes imaginent un soleil moyen qu'ils font mouvoir sur l'équateur dans le même sens que le soleil vrai, avec une vitesse constante et égale à la vitesse moyenne angulaire de l'astre réel sur son orbite apparente; le mouvement du soleil hypothétique est ainsi dégagé des deux irrégularités du soleil vrai, et c'est sur lui qu'on règle les horloges en convenant d'une époque de départ commune pour l'un et pour l'autre.

De là je vais à Hambourg avec mon horloge, à laquelle je ne touche point; et y observant le midi (car je ne me fierais pas aux horloges publiques qui y marquent les heures), je vois que mon horloge marque déjà 12h 13′ 33″; de sorte qu'à Berlin il est déjà 13′ 33″ après midi, lorsqu'il est midi à Hambourg; et de là je conclus que le méridien de Hambourg est de 3° 23′ 5″ plus vers l'occident que celui de Berlin; en comptant 15° pour une heure, et par conséquent un degré pour 4 minutes de temps: d'où l'on trouve que 13′ 33″ de temps donnent 3° 23′ 15″ pour la différence des méridiens. La longitude de Hambourg sera donc 27° 44′.

A Hambourg je m'embarque sur un vaisseau avec mon horloge; et ayant fait un long voyage, j'arrive à un lieu où, attendant le midi (dont je détermine le moment par mes observations du soleil), je vois que mon horloge ne montre que 10° 58′ 45″; de sorte qu'à Berlin il est encore avant midi dans ce moment, la différence étant 1h 1′ 45″; d'où je conclus que le lieu où je suis arrivé est plus vers l'orient que Berlin : et puisque une heure donne 15 degrés, une minute de temps 15′, et 45″ de temps 11′ 15″, la différence des méridiens sera 15° 26′ 15″. Je me trouve donc dans un lieu situé plus vers l'orient que Berlin, dont la longitude est de 15° 26′ 15″ plus grande que celle de Berlin; laquelle étant 31° 7′ 15″, la longitude au lieu où je me trouve sera 46° 33′ 30″. Ainsi je sais sous quel méridien je me trouve, mais je suis encore incertain du point de ce méridien. Pour cet effet j'ai recours aux observations astronomiques, et je cherche la hauteur du pôle, que je trouve précisément de 41°. Sachant de plus que je suis encore dans l'hémisphère boréal de la terre, n'ayant point passé l'équateur, j'apprends que je me trouve actuellement dans un lieu dont la latitude est de 41° boréale, et la longitude 46° 33′ 30″; je prends donc des cartes géographiques, j'y trace le méridien dont la longitude est 46° 33′ 30″, je cherche le lieu dont la latitude est 41°, et je trouve que ce lieu est la ville de Constantinople, sans que j'aie eu besoin de m'informer du nom de la ville à qui que ce soit.

De la même manière, en quelque endroit de la terre que je parvienne avec mon excellente horloge, j'en déterminerai la longitude, et ensuite l'observation de la hauteur du pôle m'en montrera aussi la latitude. Alors je n'ai qu'à prendre un globe terrestre ou de bonnes cartes géographiques, et il me sera aisé de marquer le point qui répond au lieu où je me trouve, quelque inconnu que me soit d'ailleurs le pays.

Cependant on est bien à plaindre que les plus habiles horlogers n'aient pas encore pu réussir à faire d'aussi excellentes horloges

que cette méthode exige. On trouve bien de très-bonnes pendules, mais elles ne marchent régulièrement que tant qu'elles sont fixées dans un appartement tout à fait tranquille; les moindres secousses et même les plus légers ébranlements étant capables de les déranger : ces pendules sont donc absolument inutiles pour les voyages. Aussi comprend-on aisément que le mouvement du pendule qui en règle la marche ne saurait souffrir les agitations auxquelles il serait exposé dans le voyage. Cependant, il y a environ dix ans qu'un ouvrier en Angleterre s'est vanté d'avoir construit une telle horloge, qui n'était pas sensible aux secousses du voyage, et on a même prétendu qu'après l'avoir fait long-temps courir dans un carrosse on n'y avait pas remarqué le moindre dérangement; sur quoi on a effectivement payé à l'inventeur une partie du prix destiné à la découverte de la longitude, et le reste lui devait être payé après qu'on aurait fait l'épreuve dans un long voyage par mer : mais depuis ce temps les gazettes n'en ont plus parlé; d'où il est à présumer que cette entreprise a aussi bien échoué que quantité d'autres qu'on a faites pour ce dessein [1].

19 septembre 1761.

LETTRE XXXIII.

Les éclipses de la lune considérées comme une troisième méthode pour déterminer les longitudes.

Au défaut d'une si excellente horloge, dont j'ai eu l'honneur de présenter une idée à Votre Altesse, on a regardé jusqu'ici les éclipses de lune comme le plus sûr moyen pour découvrir les longitudes; mais il est dommage que ces phénomènes arrivent si rarement, et qu'on ne puisse pas s'en servir toutes les fois qu'on en a besoin.

Votre Altesse sait que la lune s'éclipse lorsqu'elle passe par l'ombre

1. Le parlement d'Angleterre, en 1714, assura par un acte 20,000 liv. sterling à celui qui indiquerait une méthode pour trouver la longitude à 1/2 degré près. Harrisson, simple charpentier d'une province d'Angleterre, s'occupa de cette recherche pendant 40 années; il construisit une montre marine qui fut éprouvée en 1761 (époque où ces lettres ont été écrites) sur un vaisseau expédié pour la Jamaïque; au bout de 147 jours, elle n'avait varié que de 1' 54"; comme 1/2 degré répond à 2' de temps, l'horloge donnait donc, après 5 mois, la longitude à 1/2 degré près. Toutefois Harrisson, après une si utile découverte, ne reçut que la moitié de la récompense promise; le parlement voulut remettre l'autre au temps où Harrisson aurait rendu l'explication de son mécanisme assez simple pour être facilement imité.

de la terre. Quand cela arrive on peut remarquer le moment où la lune commence à s'enfoncer dans l'ombre de la terre, de même que le moment où elle en sort : le premier moment est nommé le commencement de l'éclipse, et l'autre la fin ; et quand on observe tous ces deux moments, le temps moyen entre eux est nommé le milieu de l'éclipse. Quelquefois la lune s'enfonce tout entière dans l'ombre de la terre, et demeure pendant quelque temps tout à fait invisible ; une telle éclipse est appelée *totale*, et alors on peut remarquer encore deux moments : celui où la lune disparaît entièrement, et celui où elle recommence à sortir de l'ombre ; celui-là est nommé le commencement de l'*obscuration* entière, et celui-ci la fin de l'*obscuration* entière. Mais quand ce n'est qu'une partie de la lune qui est obscurcie, une telle éclipse est nommée *partielle*, et on n'y remarque que les moments du commencement et de la fin. D'ailleurs Votre Altesse sait que les éclipses de lune n'arrivent qu'aux temps des pleines lunes, et cela assez rarement.

Cela posé, quand on observe une éclipse de lune en deux lieux différents et situés sous différents méridiens, on y verra bien le commencement de l'éclipse au même moment, mais les horloges de ces lieux ne marqueront pas la même heure ou le même temps : je parle des horloges bien réglées, dont chacune montre précisément 12 heures lorsqu'il est midi au lieu où elle se trouve. Si les deux lieux sont situés sous le même méridien, les horloges montreront bien le même temps, tant au commencement qu'à la fin de l'éclipse ; mais si les deux méridiens sont éloignés l'un de l'autre de 15 degrés, ou que la différence de leurs longitudes soit de 15°, les horloges doivent différer d'une heure entière, tant au commencement qu'à la fin de l'éclipse ; l'horloge du lieu situé plus vers l'orient montrera une heure de plus ou plus tard que l'autre ; de même une différence de 30° en longitude causera une différence de deux heures dans le même temps marqué par les horloges, une différence de 45° en longitude causera une différence de trois heures dans le temps, et ainsi de suite, selon la table ci-jointe :

Degrés :	15,	30,	45,	60,	75,	90,	105,	120,	135,	150,	165,	180.
Heures :	1,	2,	3,	4,	5,	6,	7,	8,	9,	10,	11,	12.

On voit par là que si la différence en longitude était de 150°, les horloges différeraient de 10 heures tant au commencement qu'à la fin de l'éclipse.

Ainsi, réciproquement, quand on observe la même éclipse en deux lieux différents, et qu'on marque exactement le temps de

l'horloge au moment du commencement de l'éclipse, on pourra conclure, de la différence entre ces temps marqués, combien ces lieux diffèrent en longitude. Or, celui où le temps est plus avancé sera situé plus vers l'orient; et par conséquent sa longitude plus grande, puisqu'on compte les longitudes de l'occident à l'orient.

C'est aussi par ce moyen qu'on a déterminé la longitude des principaux lieux de la terre, et qu'on a dressé conformément à ces déterminations les cartes géographiques. Mais il fallait toujours comparer les observations faites dans un lieu dont la longitude n'était pas encore connue, avec celles qui ont été faites dans un lieu connu; et, par cette raison, il fallait attendre jusqu'à ce qu'on eût pu faire cette comparaison. Donc, si j'étais parvenu, après un long voyage, à un lieu inconnu, et qu'il s'y présentât l'occasion d'observer une éclipse de lune, cela ne me servirait encore de rien pour connaître ma longitude au moment; je devrais attendre que je fusse de retour pour pouvoir comparer mon observation avec une autre faite dans un lieu connu, et ainsi j'apprendrais trop tard où j'avais été alors. Or je souhaiterais de me pouvoir éclaircir là-dessus sur-le-champ, pour régler mes mesures.

Mais aussi à cet égard on peut être satisfait depuis qu'on connaît si exactement le mouvement de la lune, qu'on est en état non-seulement de prédire toutes les éclipses; mais de marquer aussi le moment tant du commencement que de la fin, selon l'horloge d'un lieu connu. Votre Altesse sait que nos almanachs de Berlin marquent toujours pour chaque éclipse le commencement et la fin, selon l'horloge de Berlin. Donc, qui veut faire un long voyage peut acheter un almanach de Berlin; et quand il trouve occasion, dans un lieu inconnu, d'observer une éclipse de lune, et d'en marquer exactement le temps selon une montre qu'il aura bien réglée dans cet endroit par le midi, il n'a qu'à comparer les moments du commencement et de la fin de l'éclipse avec ceux de l'almanach, pour s'assurer de la différence entre le méridien de Berlin et celui qui passe par ce lieu où il se trouve actuellement.

Cependant, dans cette méthode, outre l'inconvénient que les éclipses de lune arrivent très-rarement, il s'en trouve encore un autre, qui est qu'on ne peut pas assez exactement distinguer le moment quand l'éclipse commence ou finit, puisque cela arrive presque insensiblement, et qu'on pourrait bien se tromper de plusieurs secondes de temps. Mais, puisque l'erreur sera à peu près la même pour la fin et le commencement, on cherche le milieu entre les deux moments observés, qui sera le milieu de l'éclipse; et on compare

ensuite ce milieu avec celui que l'almanach marque pour Berlin, ou pour un autre lieu connu.

Au reste, dans le cas où les almanachs pour l'année prochaine ne seraient pas encore imprimés, quand quelqu'un veut voyager, ou que son voyage pourrait durer quelques années de suite, on trouve d'autres livres où les éclipses sont déjà calculées pour plusieurs années de suite.

22 septembre 1761.

LETTRE XXXIV.

Les observations des éclipses des satellites de Jupiter donnent une quatrième méthode pour déterminer les longitudes.

Les éclipses de soleil peuvent aussi servir à déterminer les longitudes, mais d'une autre manière qui demande des recherches plus profondes. La raison est que le soleil lui-même ne souffre alors aucun obscurcissement; ce n'est que la lune qui se met devant le soleil, et empêche les rayons de parvenir jusqu'à nous : il en est à peu près de même si je mettais mon chapeau devant le soleil pour me garantir de sa lumière, ce qui n'empêche pas que d'autres n'en voient tout l'éclat. Aussi la lune ne couvre le soleil qu'à une partie des habitants de la terre; et nous pouvons voir ici, à Berlin, une éclipse de soleil, pendant qu'à Paris la lumière du soleil ne souffre aucun affaiblissement.

Mais la lune est réellement éclipsée par l'ombre de la terre, et sa propre lumière en est diminuée ou éteinte; de là il arrive que les éclipses de lune sont vues de la même manière, et partout où la lune se trouve sur l'horizon au temps de l'éclipse.

Votre Altesse comprend par là que s'il y avait encore d'autres corps au ciel qui souffrissent de temps en temps quelque obscurcissement réel, ils pourraient être employés avec le même succès que les éclipses de lune pour déterminer les longitudes. Or, de tels corps sont les satellites de Jupiter, qui passent même si souvent dans l'ombre de leur planète, qu'il ne se passe presque point de nuit qu'il n'y en ait un d'éclipsé; de sorte que les éclipses des satellites de Jupiter nous fournissent un moyen très-propre à déterminer les longitudes, aussi les astronomes s'en servent-ils avec un bon succès.

Votre Altesse sait que Jupiter a quatre satellites qui font leurs

révolutions autour de lui, chacun dans son orbite, comme je l'ai représenté (*fig.* 109) par les cercles décrits autour de Jupiter; j'y ai aussi représenté le soleil, pour marquer l'ombre AOB derrière le corps de Jupiter. D'où l'on voit que, dans notre figure, le premier satellite marqué I est près d'entrer dans l'ombre, le second marqué II vient d'en sortir, le troisième III est encore fort éloigné d'entrer dans l'ombre, et le quatrième IV en est sorti il y a long-temps.

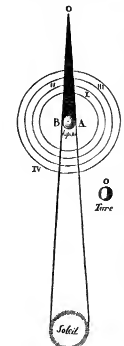


Fig. 109.

Dès qu'un des satellites entre dans l'ombre, il devint invisible; et cela arrive assez promptement: de sorte que, en quelque endroit que se trouve la terre, on voit subitement évanouir le satellite qu'on avait vu jusque-là assez distinctement. Une telle entrée d'un satellite dans l'ombre de Jupiter est nommée *immersion*, et sa sortie de l'ombre une *émersion;* c'est alors qu'on voit reparaître subitement le satellite qui a été invisible pendant quelque temps.

Tant les immersions que les émersions sont également propres à déterminer les longitudes, puisqu'elles arrivent dans un moment de temps marqué; de sorte que, quand on observe un tel phénomène en plusieurs lieux différents de la terre, on doit trouver dans les temps marqués, selon les horloges de chaque lieu, autant de différence que la différence entre les méridiens exige. Il en est de même que si l'on observait le commencement ou la fin de quelque éclipse de lune; et la chose alors n'a plus aucune difficulté : on est déjà, depuis quelque temps, parvenu à prédire ces éclipses des satellites de Jupiter, c'est-à-dire leurs immersions et leurs émersions; et on n'a qu'à comparer le temps observé avec le temps calculé pour un lieu connu, comme pour Berlin, pour en conclure d'abord l'éloignement de son méridien de celui de Berlin.

Aussi se sert-on de cette méthode partout dans les voyages par terre; mais tant qu'on est dans un vaisseau, où les besoins sont les plus pressants, on n'a pas encore trouvé moyen de profiter de cette méthode, pour être bien assuré du lieu où l'on est. Si l'on pouvait voir avec les yeux les satellites de Jupiter aussi bien que la lune, la pratique de cette méthode n'aurait aucune difficulté par mer;

mais puisqu'on ne saurait voir les satellites de Jupiter qu'au travers d'une lunette de 4 ou 5 pieds au moins, cette circonstance cause un obstacle invincible.

Votre Altesse sait, quand on se sert sur terre d'une lunette un peu longue, combien il faut d'adresse pour la diriger vers l'objet qu'on veut contempler, et pour la tenir fixe, afin qu'on ne perde pas l'objet; elle en conclura aisément que sur mer, où le vaisseau se trouve dans une agitation continuelle, il doit être presque impossible de découvrir seulement Jupiter : et quand même on l'aurait trouvé, on le perdra de vue au même instant. Mais pour bien observer une immersion ou émersion de quelque satellite de Jupiter, il faut absolument qu'on le puisse regarder paisiblement pendant quelque temps; ce qui n'étant pas possible par mer, il semble qu'on doive renoncer à cette méthode de déterminer les longitudes.

Cependant il y a deux moyens de remédier à cet inconvénient : le premier, de trouver des lunettes fort courtes; par exemple, de six pouces ou encore moins, qui nous découvriraient assez distinctement les satellites de Jupiter, car il n'y a aucun doute qu'il ne soit beaucoup plus aisé de manier de si petites lunettes que d'autres de quatre à cinq pieds de long. On travaille actuellement avec le plus grand succès à cette perfection des lunettes, et il y a grande apparence qu'on y réussira; mais c'est à savoir si de telles lunettes perfectionnées ne demanderont pas autant d'adresse, pour les diriger, que les ordinaires, qui sont plus longues.

L'autre moyen serait de se ménager un tel siége fixe et immobile sur le vaisseau, qui n'en ressentît point les agitations; il semble qu'un adroit balancement pourrait conduire à ce but. En effet, il n'y a pas long-temps que nous avons lu dans les gazettes qu'un Anglais prétendait avoir inventé un tel siége ou chaise, et qu'il prétendait par là aussi au prix proposé pour la découverte des longitudes. Il avait raison, puisque par ce moyen on pourrait observer en mer les immersions et émersions des satellites de Jupiter, qui sont sans doute très-propres pour déterminer les longitudes : mais depuis ce temps on n'en a plus rien entendu. Votre Altesse jugera aisément, d'après cela, à combien de difficultés est assujettie la découverte des longitudes.

26 septembre 1761.

LETTRE XXXV.

Le mouvement de la lune fournit la cinquième méthode de déterminer les longitudes.

Le ciel nous fournit encore une ressource pour parvenir à la découverte des longitudes sans que nous ayons besoin de lunettes, et il semble que les astronomes y mettent la plus grande confiance. C'est la lune qui doit servir à ce dessein, et cela non-seulement quand elle est éclipsée, mais même toujours, pourvu qu'elle soit visible; ce qui est sans doute le plus grand avantage : puisque les éclipses arrivent trop rarement, et que les immersions et émersions des satellites de Jupiter n'arrivent pas non plus à notre gré; puisqu'il s'écoule tous les ans un temps assez considérable pendant lequel la planète de Jupiter n'est pas visible, au lieu que la lune s'offre presque toujours à notre vue.

Votre Altesse aura sans doute remarqué que la lune se lève tous les jours plus tard presque de trois quarts d'heure. La raison en est que la lune n'est pas attachée à un lieu fixe par rapport aux étoiles fixes, qui conservent toujours la même situation entre elles, quoiqu'elles paraissent emportées par le ciel pour achever chaque jour une révolution autour de la terre. Je parle ici selon les apparences; car, en effet, c'est la terre qui tourne tous les jours autour de son axe, et le ciel et les étoiles demeurent en repos, tandis que le soleil et les planètes changent continuellement de place à l'égard des étoiles fixes. Or, la lune est assujettie aux plus grands changements parmi les étoiles; et comme d'un jour à l'autre elle change très-considérablement de place, c'est précisément ce qui la rend propre à déterminer les longitudes.

Si aujourd'hui on voit la lune près d'une certaine étoile fixe, demain à la même heure elle en paraîtra très-considérablement éloignée vers l'orient, et quelquefois la distance surpasse même 15 degrés. La vitesse de son mouvement n'est pas toujours la même, cependant on est parvenu à la déterminer très-exactement pour tous les jours; ce qui nous met en état de connaître d'avance sa vraie place dans le ciel pour toutes les heures de chaque jour, en rapportant les heures aux horloges qui sont sous un certain méridien connu : tel, par exemple, qu'est celui de Berlin ou de Paris.

Cela établi, supposons qu'après un long voyage je me trouve en mer dans un lieu tout à fait inconnu; et voyons comment je pourrai

me servir de la lune pour connaître la longitude de mon lieu : car pour la latitude, la chose n'a aucune difficulté; ni même sur la mer, où l'on connaît des moyens assez sûrs pour observer la hauteur du pôle à laquelle la latitude est toujours égale. Je dirigerais donc toute mon attention sur la lune, je la comparerais avec les étoiles fixes qui lui sont les plus proches, et de là je conclurais son vrai lieu au ciel par rapport aux étoiles fixes. Votre Altesse sait qu'on a des globes célestes sur lesquels toutes les étoiles fixes sont marquées, et qu'on fait aussi des cartes célestes semblables aux cartes géographiques, sur lesquelles on représente les étoiles fixes qui se trouvent dans une certaine partie du ciel. En prenant donc une telle carte céleste, où les étoiles fixes dont la lune est voisine sont exprimées, il me sera aisé d'y marquer le vrai lieu où la lune se trouve alors; et ma montre que j'aurai bien réglée à ce lieu, après y avoir observé le midi, me marquera le temps de cette observation. Ensuite, par la connaissance du mouvement de la lune, je calcule pour Berlin à quelle heure la lune a dû paraître au même lieu du ciel où je l'ai vue. Si le temps observé convient parfaitement avec le temps de Berlin, ce sera une marque que mon lieu est exactement sous le méridien de Berlin, et que par conséquent la longitude est la même. Mais si le temps de mon observation est différent de celui de Berlin, cette différence m'indiquera celle qui est entre les méridiens; et, comptant 15 degrés pour chaque heure de temps, je conclurai de combien la longitude de mon lieu est plus grande ou plus petite que celle de Berlin, toujours la longitude du lieu qui a le temps le plus avancé étant aussi la plus grande.

Voilà le précis de cette méthode de déterminer les longitudes par les simples observations de la lune. Or, pour mieux réussir dans cette opération, je remarque que les plus heureux moments pour bien déterminer le lieu de la lune sont lorsqu'une étoile fixe se cache derrière la lune; on nomme cela une *occultation*, et il y a deux moments à observer : celui où la lune, par son mouvement, couvre l'étoile; et l'autre, où l'étoile reparaît. Les astronomes sont très-attentifs à bien saisir ces moments des occultations, pour en conclure le vrai lieu de la lune.

Au reste je m'attends à une objection que Votre Altesse me fera à l'égard de la montre ou de l'horloge dont je suppose muni notre observateur par mer, après avoir soutenu l'impossibilité des horloges parfaites, qui marchent toujours également, nonobstant les secousses du vaisseau. Mais cette impossibilité ne regarde que de telles horloges, qui demeurent justes pendant un très-long inter-

valle de temps, sans qu'on ait besoin de les régler : or, pour les observations dont il s'agit ici, une montre ordinaire peut être suffisante, pourvu qu'elle marche uniformément pendant quelques heures, après l'avoir bien réglée sur le midi du lieu où l'on se trouve; quand on doute que l'on y puisse encore compter le soir ou la nuit, lorsqu'on observera la lune, les étoiles nous fourniront aussi des moyens très-sûrs pour la régler de nouveau, car, puisque la situation du soleil par rapport aux étoiles fixes nous est parfaitement connue pour tout temps, une seule observation de quelque étoile suffit pour déterminer le lieu où le soleil se doit trouver alors : d'où nous pouvons conclure l'heure que l'horloge, quand elle est bien réglée, devrait montrer. Ainsi, au même instant où nous aurons fait l'observation de la lune, nous sommes en état de régler aussi notre montre par les étoiles, et pendant un si petit intervalle de temps toute montre est censée marcher régulièrement.

29 septembre 1761.

LETTRE XXXVI.

Des avantages de cette dernière méthode sur les précédentes, et de son degré de précision.

Parmi ces différentes méthodes de trouver les longitudes, la dernière, fondée sur les observations de la lune, semble mériter la préférence, puisque les autres ou sont assujetties à trop de difficultés, ou bien l'occasion de s'en servir se présente trop rarement. Or Votre Altesse comprendra aisément que le succès de cette méthode dépend uniquement du degré de précision qu'on atteint dans ces opérations, et que les erreurs qu'on y commet doivent conduire à des conclusions sur lesquelles on ne saurait compter. Il sera donc fort important d'expliquer à Votre Altesse à quel degré de précision on peut espérer d'atteindre en mettant en usage cette méthode; laquelle étant fondée sur le changement considérable que la lune éprouve dans son lieu d'un jour à l'autre, nous en pouvons conclure que si le mouvement de la lune était encore plus rapide, il serait encore plus propre à nous découvrir les longitudes, et il nous procurerait un plus haut degré de précision. Mais si, au contraire, ce mouvement était beaucoup plus lent, et que nous ne pussions presque pas distinguer son changement d'un jour à l'autre, on voit bien que nous n'en saurions aussi tirer aucun secours pour la connaissance des longitudes.

Supposons donc que la lune change de place parmi les étoiles fixes par un espace de 12 degrés pendant 24 heures, puisqu'en effet son changement est pour la plupart plus considérable; elle changera donc d'un degré pendant 2 heures, et d'un demi-degré ou de 30 minutes pendant une heure. Par conséquent, si nous nous trompions, dans l'observation d'un lieu de la lune, de 30 minutes, il serait de même que si nous observions la lune une heure ou plus tôt ou plus tard, et nous commettrions une erreur d'une heure dans la conclusion sur la différence des méridiens. Or, une heure de différence dans les méridiens répond à 15 degrés dans la longitude des méridiens; par conséquent, nous nous tromperions de 15 degrés dans la longitude même du lieu que nous cherchons : ce qui serait sans doute une erreur si énorme, qu'il vaudrait presque autant ne savoir rien du tout; et la seule estime du voyage, c'est-à-dire du chemin et de la route, quelque incertaine qu'elle soit, ne nous jetterait jamais dans une erreur si grossière. Aussi faudrait-il être bien maladroit pour se tromper de 30 minutes dans le lieu de la lune, et les instruments dont on se sert devraient être extrêmement rudes : ce qui n'est pas à présumer.

Cependant, quelque excellents que soient les instruments et quelques soins qu'on y apporte, il est impossible d'éviter toute erreur, et il faut être bien habile pour ne pas se tromper d'une minute dans la détermination du lieu de la lune. Or, puisque le lieu de la lune change de 30 minutes dans une heure, ou 60 minutes de temps, il changera d'une minute en deux minutes de temps. Donc, quand on ne se trompe que d'une minute dans le lieu de la lune, il en naîtra dans la différence des méridiens une erreur de deux minutes de temps. Or, une heure ou 60 minutes répondant à 15 degrés dans la longitude, il en résultera une erreur d'un demi-degré dans la longitude; et ce degré de précision pourrait bien être suffisant, pourvu que nous y puissions atteindre.

Jusqu'ici j'ai supposé notre connaissance du mouvement de la lune si parfaite, que, pour un méridien connu, nous pouvons déterminer le vrai lieu de la lune pour chaque moment sans aucune erreur; mais nous sommes encore fort éloignés de ce point de perfection. Il n'y a pas encore vingt ans qu'on s'est trompé de 6 minutes et davantage dans ce calcul, et ce n'est que depuis ce temps que l'habile professeur Mayer, à Göttingen, poursuivant la route que j'avais proposée, est parvenu à diminuer cette erreur au-dessous d'une minute pour la plupart. Il pourrait donc bien arriver que du côté du calcul nous commissions aussi une erreur d'une mi-

nute; laquelle, étant jointe à l'erreur d'une minute commise dans l'observation du lieu de la lune, doublera l'erreur qui en rejaillira sur la longitude du lieu où nous nous trouvons, et par conséquent cette erreur pourrait bien monter à un degré entier. Il est bon de remarquer encore que, si la lune parcourt un plus grand espace en 24 heures que ne font 12 degrés, l'erreur dans la longitude serait encore moins considérable.

Peut-être trouvera-t-on moyen de diminuer encore davantage les erreurs auxquelles nous sommes assujettis tant dans l'observation que dans le calcul, et alors cette méthode nous découvrirait la longitude à moins d'un degré près. Mais aussi, sans cette perfection, on ne peut espérer d'arriver à un plus haut degré de précision. On n'a qu'à faire plusieurs pareilles observations, ce qui sera possible si l'on reste plusieurs jours en un endroit; alors il n'est pas à craindre que toutes les conclusions soient également défectueuses : quelques-unes marqueront la longitude cherchée trop grande, d'autres trop petite, et par conséquent, quand on prend un milieu entre toutes les conclusions, on pourra être assuré que cette longitude ainsi conclue différera beaucoup moins de la vérité que d'un degré.

Or, les Anglais, qui par leur générosité ont voulu encourager cette découverte, y ont mis un triple prix : l'un de 10,000, le second de 15,000, et le troisième de 20,000 livres sterling. Le premier est destiné à celui qui pourra trouver les longitudes à un degré près, de sorte qu'on puisse être assuré que l'erreur ne surpasse point un degré. Le second prix est destiné à celui qui satisfera à la question encore plus exactement; de sorte que l'erreur qu'on aurait à craindre ne surpasse jamais deux tiers d'un degré, ou 40 minutes. Enfin, le troisième sera donné à celui qui sera capable de déterminer les longitudes si exactement, que l'erreur ne monte jamais au delà d'un demi-degré, ou 30 minutes; l'on ne prétend point à un plus haut degré de précision. Tous ces prix se trouvent encore dans leur entier, outre la portion qui a été délivrée à cet horloger qui a prétendu avoir fait des montres parfaites. M. Mayer prétend actuellement au plus haut, et, à mon avis, avec raison[1].

3 octobre 1761.

1. Grâce au progrès de la science, une seule double observation de distance lunaire faite avec le cercle à réflexion, et qui n'exige que quelques minutes pour être complétée, peut donner aujourd'hui la longitude à 1/4 de degré près en ne laissant ainsi qu'une incertitude d'environ 6 lieues à l'équateur. Les montres marines, malgré leur haut degré de perfection, ne permettent pas de compter sur une aussi grande précision, et, à l'époque actuelle, la sphère céleste est encore le plus direct, le plus sûr et le plus exact des instruments de longitude.

LETTRE XXXVII.

Sur la boussole, et sur les propriétés d'une aiguille aimantée.

Votre Altesse sera maintenant suffisamment instruite sur ce qui regarde la découverte des longitudes; j'ai eu l'honneur de lui exposer plusieurs voies qui peuvent conduire à leur détermination.

La première et la plus naturelle est d'observer soigneusement le chemin et la direction du voyage; or, tant les tempêtes auxquelles on est souvent exposé par mer que les courants rendent cette méthode impraticable.

La seconde demande la construction d'une si parfaite horloge qui marche toujours uniformément, nonobstant les secousses qu'elle éprouve dans le voyage; or, les artistes n'ont pas encore trouvé moyen d'exécuter un tel ouvrage.

La troisième est fondée sur l'observation des éclipses de lune, et on ne saurait rien désirer de mieux; le seul défaut est que cette occasion se présente trop rarement, et qu'on ne peut pas s'en servir lorsqu'on en a le plus de besoin.

La quatrième regarde les éclipses des satellites de Jupiter, qui seraient sans doute très-propres à ce dessein; pourvu qu'on trouvât moyen de se servir par mer des lunettes, sans lesquelles on ne saurait voir ces satellites.

Enfin les observations de la lune même nous ont fourni la cinquième, qui paraît la plus praticable; pourvu qu'on soit en état d'observer si exactement le lieu de la lune dans le ciel que les erreurs qu'on n'y saurait éviter ne surpassent jamais une minute, afin qu'on soit assuré qu'on ne se trompe pas de plus d'un degré dans la détermination de la longitude.

C'est sur ces cinq méthodes que ceux qui ont travaillé jusqu'ici sur cette question ont principalement dirigé leurs spéculations; mais il y en a encore une sixième qui semble aussi propre à nous conduire à la résolution de ce problème, pourvu qu'elle soit mieux cultivée : et peut-être même un jour nous fournira-t-elle encore le plus sûr moyen de trouver les longitudes, quoiqu'à l'heure qu'il est nous en soyons encore fort éloignés.

Cette méthode n'est pas tirée du ciel; elle est uniquement attachée à la terre, étant fondée sur la nature de l'aimant et de la boussole. L'explication de cette méthode m'ouvre donc une nouvelle carrière d'entretenir Votre Altesse sur l'important article de

la physique qui regarde la force magnétique; et j'espère qu'elle sera bien aise d'honorer de son attention les éclaircissements que j'aurai l'honneur de proposer là-dessus.

D'abord, je bornerai mes réflexions au sujet dont il s'agit ici, c'est-à-dire à la découverte des longitudes, et, pour cet effet, il me suffit de remarquer, en général, que l'aimant est une pierre qui a la qualité d'attirer le fer et de se disposer selon une certaine direction, et qu'elle communique la même qualité au fer et à l'acier quand on le frotte ou touche seulement d'un aimant : or, je me propose dans la suite de mieux approfondir cette qualité, et d'en expliquer la nature.

Je commencerai donc par donner la description d'une aiguille aimantée, laquelle, étant montée d'une certaine manière pour l'usage de la navigation, porte le nom de boussole.

Pour cet effet, on fait fabriquer avec de bon acier une aiguille à peu près de la *fig.* 110, dont un bout B est pointu, pour le mieux distinguer de l'autre A; elle est munie au milieu C d'un petit chaperon creusé par en bas pour mettre l'aiguille sur un pivot ou pointe D, comme on peut le voir par la seconde figure.

A C B

A C B D

Fig. 110.

Supposons que les deux parties soient tellement ajustées qu'elles se contre-balancent parfaitement et que l'aiguille puisse tourner librement sur le pivot, de sorte qu'en quelque situation qu'on la mette elle y puisse demeurer en repos ou en équilibre. Avant que d'aimanter cette aiguille, il est bon de la tremper pour la rendre aussi dure qu'il est possible. Ensuite, qu'on la frotte ou touche d'un aimant excellent, et d'abord elle sera magnétique. Les deux bouts ne se balanceront plus, mais l'un, comme B, descendra en bas tout comme s'il était devenu plus pesant. De sorte que, pour la rétablir en équilibre, il faudrait ou ôter quelque chose du bout B, ou ajouter un petit poids au bout A; or, les ouvriers, prévoyant ce changement causé par le magnétisme, font, dès le commencement, le bout B plus léger que l'autre A, afin que l'aiguille, après avoir été aimantée, prenne d'elle-même la situation horizontale.

Cette aiguille acquiert alors encore une autre propriété bien plus remarquable : elle n'est plus indifférente à toutes les situations, comme auparavant; mais elle en affecte une préférablement à toutes les autres, et se dispose d'elle-même en sorte que le bout B est dirigé à peu près vers le nord, et l'autre bout A vers le sud, ou bien la direction de l'aiguille aimantée convient à peu près avec la ligne méridienne.

Votre Altesse se souvient que, pour tracer la ligne méridienne qui nous montre le nord et le sud, il faut recourir aux observations astronomiques, puisque le mouvement du soleil et des étoiles détermine cette direction; de sorte que, quand on n'est pas pourvu des instruments nécessaires, et surtout quand le ciel est couvert, on ne saurait tirer aucun secours du ciel pour tracer la ligne méridienne; d'où cette propriété de l'aiguille aimantée est d'autant plus admirable: qu'elle nous montre en tout temps et en tout lieu la direction vers le nord, de laquelle dépendent les autres vers l'est, sud et ouest. Par cette raison, l'usage de l'aiguille aimantée ou de la boussole est devenu universel, puisque, dans plusieurs occasions, il est absolument nécessaire qu'on connaisse ces principales directions du monde.

Mais surtout dans la navigation la boussole procure les plus grands avantages, puisque le cours du vaisseau doit toujours être dirigé vers un certain côté du monde pour marcher vers un lieu proposé, conformément aux cartes géographiques ou marines, qui nous marquent la direction du cours qu'il faut tenir. Aussi, avant la découverte de la boussole, on n'a pas été en état d'entreprendre de longs voyages par mer; à peine osait-on s'éloigner des côtes, et dès qu'on les perdait de vue, on risquait de s'égarer sur mer, à moins que le ciel ne fût clair et que les étoiles ne montrassent les côtés du monde.

Un vaisseau en pleine mer, sans la connaissance des côtés du monde, se trouve précisément dans le même état qu'un homme auquel on aurait bandé les yeux, qui devrait marcher vers l'église du Dôme à Magdebourg; un tel homme, lorsqu'il s'imagine aller vers un certain côté, marcherait vers un tout autre. C'est donc la boussole qui est le principal guide dans la navigation; et ce n'est qu'après cette importante découverte qu'on a hasardé de traverser le grand Océan, et qu'on a découvert le nouveau monde; et en effet, que ferait un pilote dépourvu d'une boussole, pendant ou après une tempête, quand il ne peut tirer aucun secours du ciel, quelque cours qu'il tienne? Il ne saurait pas s'il marche vers le nord ou vers le sud, ou quelque autre côté du monde; il s'égarerait bientôt au point de ne pouvoir plus se sauver. Mais la boussole le tire d'abord de ce grand embarras, en lui indiquant les côtés du monde, et l'empêche de s'égarer; d'où Votre Altesse jugera aisément combien la découverte de l'aiguille aimantée ou de la boussole est importante.

6 octobre 1761.

LETTRE XXXVIII.

Sur la déclinaison de la boussole et sur la manière de l'observer.

Quoiqu'une aiguille aimantée affecte une certaine situation dirigée du sud vers le nord, il y a des causes accidentelles capables de dérang r cette direction, qu'il faut par conséquent tâcher d'éviter très-soigneusement. C'est le voisinage de quelque aimant, ou fer ou acier, qui trouble cette direction. Votre Altesse n'a qu'à présenter un couteau à une aiguille aimantée, elle quittera d'abord sa direction naturelle pour se diriger vers le couteau; et, en faisant tourner le couteau autour de l'aiguille, on lui peut faire prendre toutes les directions possibles. Par cette raison, pour être assuré que l'aiguille est disposée dans la direction naturelle, il faut en éloigner tout fer ou acier, aussi bien que les aimants; et il est d'autant plus facile de satisfaire à cette condition, que ces matières n'en troublent la situation que lorsqu'elles sont fort proches; dès qu'elles en sont éloignées tant soit peu, leur effet devient insensible, pourvu que ce ne soit point un aimant très-fort, qui pourrait bien agir sur l'aiguille à la distance de plusieurs pieds.

Mais un tel effet n'est pas à craindre du seul fer, et c'est la raison pour laquelle on peut se servir de la boussole, même dans les mines de fer. Car Votre Altesse comprend aisément que dans les mines sous la terre on se trouve dans le même cas que sur mer lorsque le ciel est couvert, et qu'on y est également obligé de se régler sur les côtés du monde, en poussant les mines suivant une certaine direction. On dresse aussi des plans qui représentent la route de tous les tours et de toutes les allées qu'on a creusés sous la terre, et dans cet ouvrage on se règle uniquement sur la boussole; c'est l'objet de la science qu'on nomme la géométrie souterraine.

Pour revenir à notre boussole ou aiguille aimantée, j'ai d'abord remarqué qu'elle ne se dirige vers le nord qu'à peu près; en effet, ce n'est que par abus qu'on dit communément que l'aimant a la propriété de se diriger vers le nord. Après avoir fait plusieurs aiguilles aimantées, j'ai toujours trouvé qu'ici à Berlin leur direction s'écartait de la véritable ligne méridienne d'environ quinze degrés; or, une aberration de 15° est déjà fort considérable.

La *fig.* 111 représente d'abord la vraie ligne méridienne tirée

du nord au sud, et ensuite celle qui lui est perpendiculaire, marquant à droite l'est, et à gauche l'ouest. Or, l'aiguille aimantée AB n'est pas dirigée sur la méridienne, mais elle s'en écarte de l'angle BO *Nord*, qui est de 15°; on nomme cet angle la *déclinaison*, et quelquefois aussi la *variation* de la boussole ou de l'aiguille aimantée; et puisque le bout le plus proche du nord B, qu'on nomme toujours le bout boréal, s'en écarte vers l'ouest ou vers l'occident, on dit que la déclinaison est occidentale de 15°.

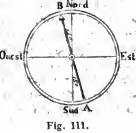


Fig. 111.

Ayant donc une fois déterminé la déclinaison de l'aiguille aimantée, on peut s'en servir aussi bien que si elle montrait précisément le nord. On entoure ordinairement l'aiguille d'un cercle, et alors on n'a qu'à marquer le nord à la juste distance du bout boréal B de l'aiguille, afin qu'elle en décline de 15° vers l'occident, et la ligne nord-sud nous marquera la vraie ligne méridienne avec les quatre principaux côtés du monde, nord, est, sud, ouest.

Pour déguiser mieux le secret, on cache l'aiguille aimantée dans un cercle de carton, comme la figure le fait voir, excepté que l'aiguille n'est plus visible; de sorte que le carton fait avec elle un seul corps qu'on met au centre sur un pivot, afin que le cercle avec l'aiguille puisse se tourner librement; et alors le cercle prendra toujours cette situation, que le point marqué nord soit dirigé précisément vers le nord, pendant que le bout boréal de l'aiguille, qu'on ne voit point, s'en écarte en effet d'un angle de 15° vers l'occident. Cette construction ne sert qu'à déguiser la déclinaison, que le vulgaire regarde comme un défaut, quoiqu'il soit plutôt un digne objet de notre admiration, comme nous le verrons bientôt; et le carton ne faisant qu'augmenter le poids de l'aiguille, empêche qu'elle ne puisse plus tourner si librement que si elle était plus légère.

Pour prévenir cet accident et se servir mieux de la boussole, on pose l'aiguille dans une boîte ronde, dont la circonférence est divisée en 360 degrés, et porte, outre cela, les noms des principaux côtés du monde. Au centre se trouve le pivot ou la pointe qui portent l'aiguille, laquelle affectant une certaine direction, on tourne la boîte jusqu'à ce que le bout boréal de l'aiguille B réponde au juste point dans la circonférence, c'est-à-dire au 15e degré, en comptant depuis le nord vers l'occident; et alors les noms marqués sur la circonférence conviendront avec les vrais côtés du monde.

Mais par mer on se sert pourtant des aiguilles enchâssées dans des cercles de carton, dont la circonférence même est divisée en 360 degrés, pour n'être pas obligé de tourner la boîte : alors le cercle de carton, qu'on nomme boussole, marquant les vrais côtés du monde, on n'a qu'à y rapporter la route que tient le vaisseau, pour savoir vers quel côté le vaisseau court, si c'est au nord, au sud, à l'est, à l'ouest, ou à quelque direction moyenne. C'est aussi sur la boussole qu'on juge les vents, ou la contrée d'où ils soufflent; puisque c'est de là qu'on leur impose des noms. Cependant il faut être bien assuré de la déclinaison ou variation de la boussole; nous l'avons bien trouvée ici de 15° vers l'ouest, mais en d'autres lieux sur la terre elle pourrait être différente, comme j'aurai l'honneur de le faire voir dans la suite.

10 octobre 1761.

LETTRE XXXIX.

Sur la variation que la déclinaison de la boussole éprouve au même endroit.

Quand j'ai dit que la déclinaison de la boussole est de 15° vers l'occident, cela ne se doit entendre que de Berlin et pour le temps présent; car on a remarqué que non-seulement dans les différents endroits de la terre cette déclinaison est différente, mais qu'elle change aussi avec le temps dans le même lieu.

Ainsi à Berlin la déclinaison magnétique est à présent beaucoup plus grande qu'autrefois : je me souviens encore très-bien qu'elle n'a été que 10°; et au siècle passé il y eut un temps où elle fut nulle, de sorte que la situation de l'aiguille aimantée convint alors exactement avec la ligne méridienne. Cela est arrivé environ l'an 1670, et depuis ce temps la déclinaison est successivement devenue de plus en plus grande vers l'ouest jusqu'à 15°, comme elle est aujourd'hui; or, il y a apparence que de ce temps-ci elle ira de nouveau en diminuant, jusqu'à ce qu'elle revienne nulle une seconde fois. Ce n'est cependant qu'une conjecture, et nous sommes encore bien éloignés de pouvoir prédire quelque chose de certain là-dessus.

D'ailleurs nous savons certainement qu'avant l'époque de 1670 la déclinaison a été contraire, ou dirigée vers l'orient; et plus nous remontons au delà de ce terme, plus nous trouvons que la déclinaison est grande vers l'orient. Or, nous ne saurions remonter plus haut qu'au temps où l'aiguille aimantée fut découverte, et qui

tombe dans le quatorzième siècle; et encore ici à Berlin, c'est bien long-temps après que cette découverte a été connue, qu'on a commencé à en observer la déclinaison, parce que d'abord on ne s'était pas encore aperçu que l'aiguille aimantée s'écartât de la ligne méridienne.

Mais à Londres, où l'on a été plus attentif sur cet article, on a observé la déclinaison magnétique l'an 1580 de 11° 15′ Est, en 1622 de 6° 0′ Est, en 1634 de 4° 5′ Est. En 1657 il n'y eut point de déclinaison, mais en 1672 elle fut de 2° 30′ Ouest, en 1692 de 6° 0′ Ouest; et à présent elle pourrait bien être de 18° Ouest, ou davantage. D'où Votre Altesse voit qu'au commencement du siècle passé elle a été environ 8° vers l'est; que depuis elle a successivement diminué jusqu'à ce qu'elle est devenue insensible en 1657, et qu'après ce temps elle est devenue occidentale ou vers l'ouest, en augmentant jusqu'à présent.

A Paris, elle a presque tenu le même ordre, mais elle fut nulle l'an 1666, ou neuf ans plus tard qu'à Londres; d'où Votre Altesse apprendra la plus grande bizarrerie dans la diversité des déclinaisons, tant par rapport aux divers lieux de la terre pour le même temps, que par rapport au même lieu pour des temps différents.

A présent, non-seulement par toute l'Europe, mais aussi par toute l'Afrique et dans la plus grande partie de l'Asie, la déclinaison est occidentale; mais en quelques lieux plus grande, en d'autres plus petite que chez nous. Il y a des contrées en Europe où elle est plus grande que chez nous, savoir, en Écosse et en Norvége, où la déclinaison sera bien au delà 20°; en Espagne, en Italie et en Grèce, au contraire, elle est plus petite, et environ de 12°; sur les côtes occidentales de l'Afrique elle est environ 10°, et sur les orientales 12°. Mais avançant dans l'Asie vers l'est, elle diminue successivement, et s'évanouit même au milieu de la Sibérie à Jeniseisk; elle disparaît encore à la Chine à Pékin, et aussi au Japon; mais au delà de ces endroits, plus vers l'est, la déclinaison devient orientale, et va en augmentant en ce sens par la partie boréale de la mer Pacifique jusqu'aux côtes occidentales de l'Amérique, d'où elle va de nouveau en diminuant, jusqu'à ce qu'elle s'évanouisse derechef en Canada, à la Floride, aux îles Antilles, et de là vers les côtes du Brésil. Au delà de ces contrées plus vers l'orient, c'est-à-dire vers l'Europe et l'Afrique, elle redevient occidentale, tout comme je l'ai déjà remarqué.

Or, pour avoir une parfaite connaissance de l'état présent de la déclinaison magnétique, il faudrait être en état de marquer pour tous les lieux, tant sur terre que sur mer, de quelle grandeur est

à présent la déclinaison magnétique, et si elle tend vers l'occident ou vers l'orient. Une telle connaissance serait sans doute très-estimable, mais elle n'est point du tout à espérer; il faudrait qu'il y eût à présent partout des hommes habiles; qui, observant chacun dans son lieu la déclinaison magnétique, nous communiquassent leurs observations avec exactitude : cependant, nous devrions certainement attendre encore quelques années, jusqu'à ce que les plus éloignées nous soient parvenues; par conséquent nous n'arriverions à cette connaissance qu'au bout de quelques années. Or, quoique dans deux ou trois ans la déclinaison de l'aiguille aimantée ne change pas considérablement, ce changement, quelque petit qu'il soit, empêcherait toutefois que la connaissance de toutes ces observations, faites dans les différentes contrées de la terre, nous éclaircissent parfaitement sur l'état présent des différentes déclinaisons de l'aiguille aimantée.

Il en est de même des temps passés, et à chaque année répond un certain état de déclinaison magnétique qui lui est propre, et qui le distingue de tous les autres temps, tant passés que futurs. Cependant il serait bien à souhaiter que nous eussions un tel état bien détaillé pour une seule année, et nous ne manquerions pas d'en tirer des éclaircissements très-importants.

Feu M. Halley, très-célèbre astronome d'Angleterre, a tâché de nous donner un tel état de la déclinaison magnétique pour l'année 1700, fondé sur un grand nombre d'observations qui ont été faites en plusieurs lieux, tant sur terre que sur mer; mais outre que des contrées très-considérables, où de telles observations n'ont pas été faites, y ont été omises, la plupart de celles qu'il a employées ont été faites plusieurs années avant cette époque de 1700; de sorte que jusque-là la déclinaison a pu souffrir des changements assez considérables. D'où il s'ensuit que cet état, qu'on trouve représenté sur une carte générale de la terre, ne saurait être regardé que comme très-défectueux : d'ailleurs, à quoi nous servirait-il à présent de savoir l'état de la déclinaison magnétique pour l'année 1700, qui depuis ce temps est très-considérablement changé ?

D'autres géographes anglais ont bien donné depuis une semblable carte, où toutes les déclinaisons devraient être représentées telles qu'elles ont été l'an 1744. Mais outre que cette carte a les mêmes défauts que celle de Halley, et que les observations leur manquaient encore pour plusieurs contrées, ils n'ont pas balancé à remplir ces espaces vides en consultant la carte de Halley, qui n'avait plus certainement lieu l'an 1744. D'où Votre Altesse jugera

que notre connaissance sur cet important article de la physique est encore extrêmement imparfaite.

13 octobre 1761.

LETTRE XL.

Sur la carte des déclinaisons, et de quelle manière elle pourrait servir à découvrir les longitudes.

Il sera bon d'expliquer aussi de quelle manière Halley s'y est pris pour représenter les déclinaisons magnétiques dans la carte qu'il a dressée pour l'année 1700, afin que si Votre Altesse voit une telle carte, elle en comprenne la construction.

D'abord, il a marqué à chaque endroit la déclinaison de l'aiguille aimantée, telle qu'elle y a été observée; parmi tous ces lieux, il a distingué ceux où il n'y eut point du tout de déclinaison, et il a vu que tous ces lieux tombent dans une certaine ligne qu'il nomme la ligne de nulle déclinaison, puisque partout sous cette ligne la déclinaison était alors nulle. Cette ligne n'était ni un méridien, ni un parallèle, mais elle traversait par des tours très-obliques l'Amérique septentrionale, et en sortait près les côtes de la Caroline; de là elle se courbait pour traverser la mer Atlantique entre l'Afrique et l'Amérique. Outre cette ligne, il en découvrit encore une autre où la déclinaison s'évanouissait pareillement; celle-ci descendait par le milieu de la Chine, et passait de là par les îles Philippines et la Nouvelle-Hollande. L'on peut bien juger par le trait de ces deux lignes, qu'elles ont une communication près de l'un et l'autre pôle de la terre.

Après avoir fixé ces deux lignes de nulle déclinaison, M. Halley a remarqué que partout entre la première et la dernière, en passant de l'occident vers l'orient, c'est-à-dire vers toute l'Europe, l'Afrique et presque toute l'Asie, la déclinaison était occidentale; or, de l'autre côté au delà de ces deux lignes, c'est-à-dire dans toute la mer Pacifique, la déclinaison était orientale. Ensuite, ayant fixé ces deux lignes comme principales, il allait considérer tous les lieux où la déclinaison était de 5° occidentale; d'où il voyait que par tous ces lieux il pouvait encore commodément tirer une ligne, qu'il nomme la ligne de 5° occidentale; il trouvait aussi deux lignes de cette nature, dont l'une accompagnait, pour ainsi dire, la première sans déclinaison, et l'autre la dernière. Il en fit de même des lieux où la déclinaison était de 10°, ensuite de 15°, de 20°, etc.,

et il vit que les lignes de ces grandes déclinaisons étaient bornées vers les pôles, pendant que celles des petites déclinaisons traversaient toute la terre et passaient par l'équateur.

En effet, sous l'équateur, la déclinaison ne saurait à peine surpasser 15°, tant vers l'ouest que vers l'est; mais, en approchant des pôles, on peut arriver à des lieux où la déclinaison surpasse 58° et 60°; il y en aura aussi sans doute où elle est encore plus grande, surpassant même 90° et plus, où le bout boréal de l'aiguille se tournera par conséquent vers le sud.

Enfin, après avoir aussi tiré de semblables lignes par les lieux où la déclinaison était orientale de 5°, 10°, 15°, et ainsi de suite, M. Halley a rempli de cette manière toute la carte qui représente la surface entière de la terre de telles lignes, sous chacune desquelles la déclinaison est partout la même, pourvu que les observations ne manquent pas. Aussi, M. Halley a-t-il été assez scrupuleux pour ne pas continuer ces lignes au delà des lieux dont il avait des observations; ce qui est la raison que la plus grande partie de sa carte est vide de ces lignes.

Mais en cas qu'on eût une telle carte juste et complète, on y verrait d'un coup d'œil quelle déclinaison aurait régné à chaque endroit dans le temps pour lequel la carte aurait été dressée; car, quand même le lieu proposé ne se trouverait pas précisément sous une des lignes marquées, en le comparant avec les deux lignes entre lesquelles il serait situé, on estimerait aisément la déclinaison moyenne qui lui conviendrait. Ainsi, si je me trouvais entre les lignes de 10° et de 15° de déclinaison occidentale, je serais certain que la déclinaison y serait plus grande que 10° et moindre que 15°; et, selon que je serais plus proche de l'une ou de l'autre, je trouverais aisément le juste milieu qui m'indiquerait la véritable déclinaison.

Votre Altesse reconnaîtra sans difficulté par là que si l'on avait une telle carte exacte, elle nous servirait à découvrir les longitudes, au moins pour le temps auquel elle conviendrait. Supposons, pour expliquer cette méthode, que nous ayons une telle carte dressée pour cette année, où nous verrions d'abord les deux lignes tracées par les endroits où la déclinaison est nulle; ensuite aussi deux lignes où la déclinaison serait de 5°, de 10°, de 15°, de 20°, tant occidentale qu'orientale : supposons même que, pour une plus grande exactitude, ces lignes soient tirées de degré en degré, et que je me trouve quelque part en mer ou dans un pays inconnu, je tirerais donc d'abord une ligne méridienne, pour voir combien ma boussole s'en écarte, et je trouverais, par exemple, que la

déclinaison est précisément de 10° vers l'est; alors je prendrais ma carte, j'y chercherais les deux lignes sous lesquelles la déclinaison est de 10° vers l'est, et je serais sûr que je me trouve sous l'une ou l'autre de ces deux lignes, ce qui m'éclaircirait déjà beaucoup dans mon incertitude. Enfin, j'observerais la hauteur du pôle, qui étant égale à la latitude du lieu où je me trouverais, il ne me resterait plus qu'à marquer sur les deux lignes mentionnées les points dont la latitude serait la même que celle que je viens d'observer; et alors toute mon incertitude serait réduite à deux points très-éloignés l'un de l'autre : or, les circonstances de mon voyage décideront aisément lequel de ces deux lieux est celui où je me trouve actuellement.

Votre Altesse conviendra que cette méthode serait presque la plus commode de toutes celles que j'ai eu l'honneur d'expliquer, pourvu que nous eussions de telles cartes, comme je viens de supposer. Mais c'est précisément ce qui nous manque; et, comme nous sommes encore fort éloignés de pouvoir dresser, pour un temps passé, une telle carte qui ne nous servirait à rien pour le temps présent, faute d'une suffisante quantité d'observations, nous sommes encore moins instruits de tous les changements de la déclinaison que chaque endroit éprouve par la suite du temps. Les observations faites jusqu'ici nous font voir que quelques endroits sont assujettis à des changements très-considérables, pendant que d'autres n'en souffrent presque point dans le même intervalle de temps; ce qui nous ôte toute espérance de pouvoir jamais profiter de cette méthode, quelque excellente qu'elle soit en elle-même.

17 octobre 1761.

LETTRE XLI.

Pourquoi les aiguilles aimantées affectent en chaque lieu de la terre une certaine direction; pourquoi cette direction est différente en différents endroits, et par quelle raison elle change au même endroit avec le temps.

Votre Altesse sera sans doute curieuse d'apprendre la raison pourquoi les aiguilles aimantées affectent en chaque lieu de la terre une certaine direction; pourquoi cette direction est différente en différents lieux, et pourquoi au même lieu elle change avec le temps? Sur ces questions importantes, j'aurai l'honneur de dire tout ce que j'en sais, quoiqu'il s'en faille peut-être beaucoup que cela satisfasse la curiosité de Votre Altesse.

D'abord je remarque que les aiguilles aimantées ont cette propriété commune avec tous les aimants, et que ce n'est que leur figure, propre à balancer sur un pivot et y tourner librement, qui rend cette propriété plus marquée. Tout aimant étant suspendu par un fil se tourne toujours vers un certain côté; ou lorsqu'on le met dans un petit vaisseau, pour le faire nager sur l'eau, le vaisseau avec l'aimant affectera toujours une certaine direction. De même que dans les aiguilles qui ont deux bouts, dont l'un se dirige à peu près vers le nord et l'autre vers le sud, on remarque la même chose dans chaque aimant qui pareillement est pourvu de deux pareils points semblables, dont l'un affecte le nord et l'autre le sud, à peu près avec les mêmes variations que dans les aiguilles.

Ces points sont aussi très-sensibles dans chaque aimant, puisque c'est là où il attire le fer avec la plus grande force. On les nomme les *pôles* d'un aimant, en empruntant cette dénomination de celle des pôles de la terre ou du ciel, parce que l'un tâche de se diriger vers le pôle boréal, et l'autre vers le pôle austral ou méridional de la terre; ce qui ne doit s'entendre qu'à peu près, car lorsqu'on introduisit ces noms, la déclinaison n'était pas encore connue. L'un des deux pôles de l'aimant qui se dirige vers le nord est nommé le pôle boréal, et l'autre qui se dirige vers le sud, le pôle méridional ou austral de l'aimant.

J'ai déjà remarqué qu'une aiguille aimantée, aussi bien que l'aimant même, ne prend cette situation, qui lui paraît naturelle, que lorsqu'elle se trouve hors du voisinage de quelque autre aimant, ou du fer. Si une aiguille aimantée se trouve proche d'un aimant, elle se règle dans sa situation sur les pôles de cet aimant; en sorte que le pôle boréal de l'aimant attire le bout méridional de l'aiguille, et réciproquement le méridional de l'aimant, le bout boréal de l'aiguille : c'est pourquoi, en rapportant deux aimants ensemble, on nomme pôles amis ceux qui portent différents noms, et pôles ennemis, ceux du même nom. Cette propriété est très-remarquable lorsqu'on approche deux aimants l'un de l'autre; car alors on verra non-seulement que les pôles de différents noms s'attirent mutuellement, c'est-à-dire le boréal de l'un et le méridional de l'autre, mais aussi que les pôles du même nom se fuient et se repoussent l'un l'autre. On le voit encore plus distinctement lorsqu'on approche deux aiguilles aimantées l'une de l'autre.

Pour notre dessein, il sera fort important de bien considérer la situation qu'une aiguille aimantée prend dans le voisinage d'un aimant.

Dans la *fig.* 112, la barre AB représente un aimant dont le pôle

boréal est en B, et le pôle méridional en A ; Votre Altesse voit plusieurs positions de l'aiguille aimantée, que je représente par la figure d'une flèche, dont le bout marqué *b* est le pôle boréal, et *a*, le pôle méridional. Dans toutes ces positions, le bout *b* de l'aiguille s'approche du pôle A de l'aimant, et le bout *a* du pôle B. Le point *c* marque le pivot sur lequel l'aiguille tourne; et Votre Altesse n'a qu'à bien considérer la figure, pour juger quelle situation prendra l'aiguille, en quelque lieu, autour de l'aimant, qu'on fixe le pivot *c*.

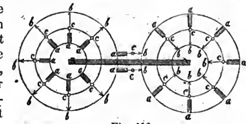


Fig. 112.

Donc, s'il y avait quelque part un très grand aimant AB, les aiguilles aimantées posées autour de lui prendraient en chaque endroit une certaine situation, comme nous voyons que cela arrive actuellement autour de la terre; ou bien, si la terre elle-même était cet aimant, on comprendrait pourquoi les aiguilles aimantées se disposent partout selon une certaine direction. Aussi les physiciens, pour expliquer ce phénomène, soutiennent que toute la terre a la propriété d'un aimant, ou que nous la devons regarder comme un très-grand aimant. Quelques-uns d'entre eux prétendent qu'il se trouve vers le centre de la terre un très-grand aimant qui exerce sa force sur toutes les aiguilles aimantées, et même sur tous les aimants qui se trouvent sur la surface de la terre; et que c'est cette force qui les dirige en chaque lieu, selon les mêmes directions que nous y observons.

Mais nous n'avons pas besoin de recourir à un tel aimant caché dans les entrailles de la terre; sa surface même est tellement remplie partout de mines de fer et d'aimants, que leur force réunie peut bien suppléer au défaut de ce prétendu grand aimant. En effet, on tire tous les aimants des mines; ce qui est une marque bien certaine que ces minéraux se trouvent très-abondamment dans les entrailles de la terre, et que toutes leurs forces réunies fournissent la force générale qui produit tous les phénomènes magnétiques. Par là, nous sommes aussi en état d'expliquer pourquoi, au même lieu, la déclinaison magnétique change avec le temps; car on sait que les mines de tous les métaux sont assujetties à des changements continuels, et en particulier celles de fer, où il faut aussi rapporter les aimants : tantôt dans un endroit il s'engendre du

fer, tantôt il s'y détruit; de sorte qu'il y a aujourd'hui des mines de fer où il n'y en eut point autrefois; et là où l'on a trouvé autrefois de telles mines en abondance, on n'y trouve plus rien aujourd'hui, Cela prouve suffisamment que la masse totale de tous les aimants renfermés dans la terre souffre des changements très-considérables; d'où sans doute les pôles, sur lesquels se règle la déclinaison magnétique, changeront aussi avec le temps.

C'est ici donc qu'il faut chercher la cause pourquoi les déclinaisons magnétiques sont sujettes à des changements si considérables aux mêmes lieux de la terre. Mais cette même raison, fondée sur l'inconstance de ce qui se passe dans les entrailles de la terre, ne nous laisse aucune espérance de parvenir jamais à prédire d'avance la déclinaison magnétique, à moins qu'on ne trouve moyen de ramener les changements de la terre à quelque loi fixe. Une longue suite d'observations, continuée pendant plusieurs siècles, pourrait peut-être nous fournir des éclaircissements là-dessus.

20 octobre 1761.

LETTRE XLII.

Eclaircissements ultérieurs sur la cause et la variation de la déclinaison des aiguilles aimantées.

Ceux qui prétendent que la terre renferme dans son sein un grand aimant, comme un noyau, sont obligés de dire, pour expliquer la déclinaison magnétique, que ce noyau change de situation successivement. Il faudrait alors que ce noyau fût détaché de la terre dans toutes ses parties; et comme sans doute son mouvement suivrait une certaine loi, nous pourrions espérer de découvrir un jour cette loi suivant laquelle la déclinaison change avec le temps. Mais, soit qu'il y ait un tel noyau magnétique dans la terre, soit que les aimants dispersés dans son sein réunissent leurs forces pour produire les phénomènes magnétiques, on peut toujours regarder la terre même comme un aimant selon lequel se dirigent tous les aimants particuliers et toutes les aiguilles aimantées.

Quelques physiciens ont renfermé dans un globe un aimant d'une très-grande force; et ayant placé sur la surface dudit globe une aiguille aimantée, ils y ont observé des phénomènes semblables à ceux qui ont lieu sur la terre, après avoir placé l'aimant dans le globe de plusieurs façons différentes. Or, en considérant la terre comme un aimant, elle aura ses pôles magnétiques, qu'il faut bien

distinguer de ses pôles naturels autour desquels elle tourne; ces différents pôles n'ont rien de commun entre eux que le seul nom; mais c'est de la position des pôles magnétiques à l'égard des naturels que proviennent les irrégularités apparentes dans la déclinaison magnétique, et en particulier des lignes tracées sur la terre, dont j'ai eu l'honneur de rendre compte à Votre Altesse.

Pour mieux éclaircir cette matière, je remarque que si les pôles magnétiques tombaient précisément dans les pôles naturels, il n'y aurait point de déclinaison sur la terre; partout les aiguilles aimantées seraient précisément dirigées du nord vers le sud, et leur position serait précisément la même que celle de la ligne méridienne. Ce serait sans doute un très-grand avantage pour la navigation, puisqu'on connaîtrait alors exactement la route du vaisseau et la direction du vent; au lieu qu'à présent on doit toujours chercher la déclinaison de la boussole, avant que de pouvoir déterminer les vrais côtés du monde. Mais alors la boussole n'apporterait aussi aucun secours pour la détermination des longitudes, but auquel la déclinaison pourrait bien conduire un jour.

De là on peut conclure que si les pôles magnétiques de la terre différaient de beaucoup des pôles naturels, et qu'ils fussent directement opposés l'un à l'autre, ce qui arriverait si l'axe magnétique de la terre (c'est la ligne droite tirée par les deux pôles magnétiques) passait par le centre de la terre, alors les aiguilles aimantées se dirigeraient partout vers ces pôles magnétiques, et il serait bien aisé d'assigner pour tous les lieux la direction magnétique : on n'aurait qu'à tirer par chaque lieu un cercle qui passât en même temps par les deux pôles magnétiques, et l'angle que ferait ce cercle avec le méridien du même lieu donnerait la déclinaison magnétique.

Dans ce cas, les deux lignes sous lesquelles la déclinaison est nulle seraient des méridiens tirés par les pôles magnétiques. Donc, puisque nous avons vu qu'actuellement ces deux lignes, où il n'y a point de déclinaison, ne sont point des méridiens, mais qu'elles ont un tour bien bizarre, on voit bien que ce cas n'a point lieu sur la terre. Halley a bien reconnu cette conséquence, et s'est cru obligé par là de supposer un double aimant dans les entrailles de la terre, dont l'un serait fixe et l'autre mobile; en conséquence, il a établi quatre pôles sur la terre, dont deux se trouvent près du pôle boréal, et les deux autres près du pôle méridional, à inégales distances. Mais cette conclusion me paraît un peu hasardée : de ce que les lignes sans déclinaison ne sont point des méridiens, il ne s'ensuit pas qu'il y ait quatre pôles magnétiques sur la terre; mais plutôt

qu'il n'y en ait que deux, et que ces deux pôles ne soient pas directement opposés l'un à l'autre, ou, ce qui revient au même, que l'axe magnétique ne passe point par le centre de la terre.

Il reste donc encore à considérer les cas où ces deux pôles magnétiques ne sont pas directement opposés, et où l'axe magnétique ne traverse pas la terre par son centre; car en effet, en embrassant l'hypothèse du noyau magnétique dans la terre, quelle nécessité y a-t-il que l'un des pôles magnétiques soit précisément à l'opposite de l'autre? Il se pourrait bien que ce noyau ne se trouvât point au milieu de la terre, mais qu'il fût à quelque distance du centre. Or, dès que les pôles magnétiques ne sont plus opposés diamétralement l'un à l'autre, les lignes sous lesquelles la déclinaison est nulle prennent effectivement un tour semblable à celui qu'on a conclu par les observations; il est même possible d'assigner aux deux pôles magnétiques de telles places sur la terre, que non-seulement ces lignes seraient d'accord avec les observations, mais aussi pour tous les degrés de déclinaison, tant occidentale qu'orientale, on trouve précisément des lignes semblables à celles qui nous ont d'abord paru si bizarres.

Donc, pour connaître l'état de la déclinaison magnétique, il ne s'agit que de fixer les deux pôles magnétiques; et alors c'est un problème de géométrie, de déterminer la route de toutes ces lignes dont j'ai parlé dans ma lettre précédente, qui sont tirées par tous les lieux où la déclinaison est la même. C'est par ce moyen encore qu'on serait en état de rectifier ces lignes, et de remplir des contrées où les observations nous manquent; et si l'on pouvait, pour tous les temps à venir, assigner les lieux des deux pôles magnétiques sur la terre, ce serait sans doute la plus belle solution du problème des longitudes.

On n'a donc point besoin d'un double aimant dans la terre, ou bien des quatre pôles magnétiques, pour expliquer les phénomènes de la déclinaison magnétique, comme le grand Halley l'a crû; mais un simple aimant ou deux pôles magnétiques sont parfaitement suffisants, pourvu qu'on assigne à chacun sa juste place. Il me semble que par cette réflexion nous sommes beaucoup plus avancés dans notre connaissance sur le magnétisme.

24 octobre 1761.

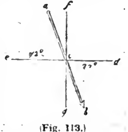
LETTRE XLIII.

Sur l'inclinaison des aiguilles aimantées.

Qu'il plaise à Votre Altesse de se souvenir que lorsque nous frottâmes ou touchâmes une aiguille sur un aimant, elle en acquit non-seulement la propriété de se diriger vers un certain point de l'horizon, mais que son bout boréal descendit aussi comme s'il fût devenu plus pesant; ce qui nous obligea d'en ôter quelque chose ou d'ajouter au bout opposé, pour remettre l'aiguille en équilibre. Or, ne faisant pas usage de ce moyen, j'ai fait plusieurs expériences pour m'assurer jusqu'où la force magnétique fait descendre le bout boréal de l'aiguille aimantée, et j'ai trouvé qu'il baissait jusqu'à faire un angle de 72 degrés avec l'horizon, et que dans cette situation l'aiguille restait en repos. Il est bon de remarquer que j'ai fait ces expériences ici à Berlin, il y a environ six ans; car je ferai voir dans la suite que cette situation sous l'horizon est aussi variable que la déclinaison magnétique.

Nous voyons par là que la force magnétique exerce un double effet sur les aiguilles : l'un est celui dont j'ai déjà fort amplement parlé, par lequel elle dirige l'aiguille vers un certain côté de l'horizon, dont l'éloignement de la ligne méridienne est ce qu'on nomme la déclinaison magnétique. Mais l'autre effet imprime à l'aiguille une inclinaison vers l'horizon, en faisant baisser l'un ou l'autre bout au-dessous de l'horizon, jusqu'à un certain angle.

Soit *de* (*fig.* 113) la ligne horizontale tirée selon la déclinaison magnétique, et l'aiguille prendra ici à Berlin la situation *ba*, qui fait avec l'horizon *de* l'angle *dcb* ou *eca*, qui est 72°, et par conséquent avec la verticale *fg*, un angle *bcg*, ou *acf*, de 18°. Ce second effet de la force magnétique, par lequel les aiguilles aimantées affectent une certaine inclinaison avec l'horizon, est aussi remarquable que le premier; et comme le premier est nommé la *déclinaison magnétique*, le second est connu sous le nom de l'*inclinaison magnétique*, qui mériterait, aussi bien que la déclinaison, d'être observée partout avec tous les soins possibles, puisqu'on y trouve une aussi grande variété.



(Fig. 113.)

Comme l'inclinaison a été trouvée à Berlin de 72°, à Bâle on ne l'a observée que de 70°, le bout boréal de l'aiguille étant baissé,

et l'autre par conséquent élevé de cet angle. Cela arrive dans nos contrées qui sont plus proches du pôle magnétique boréal de la terre, et plus nous approchons de ce pôle, plus l'inclinaison de l'aiguille devient grande, ou s'approche davantage de la ligne verticale; de sorte que, si nous pouvions arriver à ce pôle même, l'aiguille y prendrait effectivement la situation verticale, son bout boréal étant tourné en bas et le méridional en haut. Au contraire, plus on s'éloigne du pôle boréal magnétique de la terre, et qu'on s'approche du méridional, plus l'inclinaison devient petite; elle disparaîtra enfin, et l'aiguille prendra une situation horizontale, quand on se trouvera à des distances égales des deux pôles. Or, ensuite, s'approchant davantage du pôle méridional de la terre, ce sera alors le bout méridional de l'aiguille qui s'enfoncera de plus en plus sous l'horizon, le bout boréal s'élevant au-dessus, jusqu'à ce que, dans ce pôle même, l'aiguille deviendra derechef verticale, tournant son bout méridional en bas et le boréal en haut.

Il serait bien à souhaiter qu'on fît partout des expériences aussi soigneuses pour déterminer l'inclinaison magnétique, que celles qu'on fait pour la déclinaison; mais jusqu'ici on a trop négligé cet important article de la physique expérimentale, qui n'est pas certainement moins curieux ni moins intéressant que celui de la déclinaison. Mais il n'en faut pas être surpris : cette espèce d'expérience est sujette à trop de difficultés, et presque toutes les manières qu'on a imaginées jusqu'ici pour observer l'inclinaison magnétique ont manqué de succès; il n'y eut qu'un artiste de Bâle, nommé Diterich, qui y a réussi, ayant construit une machine propre à ce dessein, suivant les vues du célèbre M. Daniel Bernoulli. Il m'avait envoyé deux de ces machines, par le moyen desquelles j'ai observé ici cette inclinaison de 72°; et, quelque curieux que soient d'ailleurs les Anglais et les Français sur ces sortes de découvertes, ils ne firent pas grand cas de la machine de M. Diterich, quoiqu'elle soit la seule propre à ce dessein. C'est un grand exemple qui nous fait voir combien les préjugés sont capables d'arrêter les progrès des sciences. Par cette raison on peut soutenir que Bâle et Berlin sont encore les seuls endroits sur la terre où l'on connaît l'inclinaison magnétique.

Les aiguilles faites pour les boussoles ne sont pas absolument propres à nous montrer la quantité de l'inclinaison magnétique, quoiqu'elles en indiquent grossièrement l'effet, parce que le bout boréal devient dans nos contrées plus pesant : pour faire usage de ces aiguilles destinées à nous découvrir la déclinaison, nous sommes plutôt obligés de détruire l'effet de l'inclinaison, en rendant ou plus

léger le bout boréal, ou plus pesant le bout méridional. Pour amener l'aiguille dans la situation horizontale, on se sert ordinairement du dernier remède, et on attache un peu de cire au bout méridional de l'aiguille. Mais Votre Altesse comprend aisément que ce remède n'a lieu qu'ici, où la force inclinatoire est d'une certaine grandeur, et que si nous voyageons avec une telle aiguille vers le pôle boréal magnétique de la terre, la force inclinatoire deviendra aussi plus grande; de sorte que, pour en empêcher l'effet, il faudra ajouter encore de la cire sur le bout méridional. Mais si nous voyageons vers le midi, et que nous approchions de l'autre pôle de la terre, où la force inclinatoire sur le bout boréal de l'aiguille devient plus petite, il faut alors diminuer la cire attachée à l'autre bout; ensuite l'ôter tout à fait, parce qu'elle est inutile si l'on parvient à des endroits où l'inclinaison magnétique s'évanouit. Or, passant ce terme, et approchant davantage du pôle méridional, le bout méridional de l'aiguille est poussé en bas, de manière que, pour prévenir cet effet, il faut attacher de la cire au bout boréal de l'aiguille. C'est aussi effectivement de ce moyen qu'on se sert dans les grands voyages, pour maintenir la boussole dans une situation horizontale.

Or, pour observer l'inclinaison magnétique, il faudrait avoir des instruments faits exprès, et même semblables à celui que l'artiste de Bâle a inventé; on nomme un tel instrument un *inclinatoire* [1], mais il n'y a pas apparence qu'on en fasse sitôt usage. Encore moins pouvons-nous espérer qu'on fasse bientôt des cartes sur l'inclinaison magnétique, semblables à celles où l'on nous a représenté la déclinaison : on y pourrait bien suivre la même méthode, et tirer des lignes par tous les lieux où l'inclinaison magnétique sera la même; de sorte qu'on y aurait des lignes sans inclinaison, ensuite d'autres lignes où l'inclinaison est de 5°, 10°, 15°, 20°, etc., tant vers le nord que vers le sud.

27 octobre 1761.

LETTRE XLIV.

Sur la véritable direction magnétique, et sur la matière subtile qui produit la force magnétique.

Pour se former une juste idée de l'effet de la force magnétique de la terre, il faut avoir égard tant à la déclinaison qu'à l'inclinaison des aiguilles aimantées dans chaque lieu de la terre : nous

1. Actuellement *boussole d'inclinaison*

savons qu'à Berlin la déclinaison est de 15° vers l'occident, et que l'inclinaison au bout boréal est de 72°. En considérant ce double effet, la déclinaison et l'inclinaison, on aura la véritable direction magnétique : ainsi, pour savoir la véritable direction magnétique pour Berlin, on tirera d'abord sur un plan horizontal une ligne qui fasse avec la méridienne un angle de 15° vers l'occident; et de là, en descendant vers la ligne verticale, on tracera une nouvelle ligne qui fasse un angle de 72° avec celle-là, et celle-ci nous montrera la direction magnétique pour Berlin. D'où Votre Altesse comprend comment on devrait assigner pour tout autre endroit la direction magnétique, pourvu qu'on y connût tant l'inclinaison que la déclinaison.

Or, chaque aimant nous découvre des phénomènes tout à fait semblables : on n'a qu'à le mettre sur une table couverte de limaille de fer, et l'on verra que la limaille se disposera autour de l'aimant BA, à peu près comme la *fig.* 114 le représente, où chaque parcelle de limaille peut être regardée comme une petite aiguille aimantée qui nous fait voir en chaque point autour de l'aimant, la direction magnétique. Cette expérience nous conduit à chercher la cause de tous ces phénomènes magnétiques.

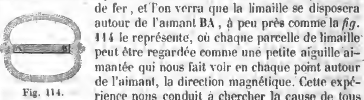


Fig. 114.

L'arrangement que nous observons dans la limaille de fer ne nous laisse pas douter que ce ne soit une matière subtile et invisible qui enfile les parcelles de la limaille, et les dispose dans la direction que nous voyons. Outre cela, il est également clair que cette matière subtile traverse l'aimant même; en y entrant par l'un de ses pôles, et sortant par l'autre; de sorte qu'elle forme par son mouvement continuel autour de l'aimant un tourbillon qui reconduit la matière subtile d'un pôle à l'autre, et il n'y a aucun doute que ce mouvement ne soit extrêmement rapide.

C'est donc dans un tourbillon continuel que consiste la nature des aimants, ce qui les distingue de tous les autres corps; et la terre elle-même, en qualité d'aimant, sera entourée d'un tel tourbillon qui agit partout sur les aiguilles aimantées, et fait des efforts pour les disposer suivant sa propre direction, qui est la même que j'ai nommée auparavant la direction magnétique. Cette matière subtile sort donc continuellement par l'un des pôles magnétiques de la terre, et, après en avoir fait le tour jusqu'à l'autre pôle, elle y rentre et la traverse dans toute son épaisseur, jusqu'à ce qu'elle s'échappe de nouveau par le premier pôle.

Or, on ne saurait encore décider par lequel des deux pôles ma-

gnétiques de la terre elle entre ou sort : les phénomènes qui en dépendent se ressemblent si parfaitement, qu'on ne les saurait distinguer. C'est aussi sans doute ce tourbillon général de la terre qui fournit la matière subtile à tous les aimants partiaux, et au fer ou acier aimantés, et qui entretient les tourbillons particuliers qui les environnent.

Pour approfondir la nature de cette matière subtile et son mouvement, il faut d'abord remarquer qu'elle n'agit que sur les aimants, le fer et l'acier; tous les autres corps lui sont absolument indifférents : il faut donc qu'elle se trouve dans une tout autre relation à l'égard des aimants et du fer, que de tous les autres corps. Plusieurs expériences nous obligent de soutenir que cette matière subtile traverse librement tous les autres corps, et même en tout sens; car, quand un aimant agit sur une aiguille, l'action est parfaitement la même, soit qu'on mette quelque corps entre eux, ou qu'on n'y en mette pas, pourvu que ce ne soit point du fer, et c'est aussi de la même manière qu'un aimant exerce son action sur la limaille de fer. Il faut donc bien que cette matière subtile traverse tous les corps, hormis le fer, aussi librement que l'air, et même le pur éther, puisque ces expériences réussissent également dans un espace vidé d'air par la machine pneumatique. Cette matière subtile est par conséquent aussi différente de l'éther, et même beaucoup plus subtile. Ensuite, à cause du tourbillon général de la terre, on peut dire qu'elle environne toute la terre et qu'elle en traverse librement toute la masse, tout comme les autres corps, à l'exception du fer et des aimants; et c'est pour cette raison qu'on pourrait nommer le fer et l'acier des corps magnétiques, pour les distinguer de tous les autres corps.

Mais si la matière magnétique passe librement au travers de tout corps non magnétique, quel rapport aura-t-elle avec les corps magnétiques? Nous venons de voir que le tourbillon magnétique entre par l'un des pôles de chaque aimant, et sort par l'autre, d'où l'on pourrait conclure qu'il traverse aussi librement les aimants; ce qui ne le distinguerait pas des autres. Mais quand la matière magnétique ne traverse les aimants que d'un pôle à l'autre, c'est une circonstance bien différente de celle qui a lieu dans les autres. Voilà donc le caractère distinctif. Pour les corps non magnétiques, ils sont traversés librement par la matière magnétique et en tout sens; pour les aimants, ils n'en sont traversés que dans un seul sens, l'un des pôles étant destiné à l'entrée et l'autre à la sortie. Pour le fer et l'acier, quand ces corps sont aimantés, ils sont aussi traversés par la matière magnétique, seulement dans un seul sens,

selon la nature des pôles magnétiques; mais quand ces corps ne sont pas encore aimantés, on peut dire qu'ils n'accordent point un passage libre à la matière magnétique dans aucun sens.

Cela paraîtra étrange, puisque le fer a des pores ouverts qui transmettent l'éther même, qui n'est pas pourtant si subtil que la matière magnétique. Mais il faut bien distinguer un simple passage d'un autre oùla matière magnétique puisse traverser le corps avec toute sa rapidité, sans rencontrer aucun obstacle.

31 octobre 1761.

LETTRE XLV.

Continuation sur la nature de cette matière magnétique et de son courant rapide. Des canaux magnétiques.

Il s'en faut beaucoup que je prétende parfaitement expliquer les phénomènes du magnétisme; j'y trouve des difficultés que je n'ai pas rencontrées dans les phénomènes de l'électricité. La cause en est sans doute que l'électricité consiste dans un trop grand ou trop petit degré de compression d'un fluide subtil qui occupe les pores des corps, sans que ce fluide subtil, qui est l'éther, se trouve dans un mouvement actuel; mais le magnétisme ne saurait être expliqué, à moins qu'on ne suppose un tourbillon rapidement agité qui pénètre les corps magnétiques.

La matière qui constitue ces tourbillons est aussi beaucoup plus subtile que l'éther, et traverse librement les pores des aimants, qui sont impénétrables à l'éther même. Or, cette matière magnétique est répandue et mêlée dans l'éther, tout de même que l'éther est mêlé avec l'air grossier; ou, comme l'éther occupe et remplit les pores de l'air, on peut dire que la matière magnétique est renfermée dans les pores mêmes de l'éther.

Maintenant je conçois que l'aimant et le fer ont des pores si petits, que l'éther tout entier ne saurait entrer, et qu'il n'y a que la matière magnétique qui les puisse pénétrer, et qui, en y entrant, se sépare de l'éther, de sorte qu'il s'y fait pour ainsi dire une filtration. Ce n'est donc que dans les pores de l'aimant que la matière magnétique se trouve toute pure; partout ailleurs elle est mêlée et dispersée par l'éther, tout comme l'éther lui-même est dispersé par la masse de l'air.

Votre Altesse imaginera aisément plusieurs semblables fluides, dont l'un est toujours plus subtil que l'autre, et qui sont parfaitement mêlés ensemble. La nature nous en offre des exemples nullement équivoques. Nous savons que l'eau renferme dans ses pores des particules d'air que nous y voyons souvent monter en forme de petites bulles; ensuite il n'y a plus de doute que l'air ne renferme dans ses pores un fluide incomparablement plus subtil, qui est l'éther, et qui s'en sépare même en plusieurs occasions, comme nous avons vu dans l'électricité. A présent nous voyons que cette progression va plus loin, et que l'éther contient encore une matière beaucoup plus subtile, qui est la matière magnétique; peut-être celle-ci en renferme-t-elle encore d'autres plus subtiles : du moins cela ne serait pas impossible.

Après avoir établi cette matière magnétique, voyons de quelle manière elle produit les phénomènes magnétiques. Pour cet effet, je considère d'abord un aimant, et je dis premièrement, qu'outre une très-grande quantité de pores remplis d'éther, comme tous les autres corps, l'aimant contient encore des pores beaucoup plus étroits, où la seule matière magnétique peut entrer; en second lieu, que ces pores sont disposés de manière à avoir une communication entre eux, et constituent des tuyaux ou canaux par lesquels la matière magnétique passe d'un bout à l'autre; en troisième lieu, que la matière magnétique ne saurait passer par ces tuyaux que dans un sens, sans pouvoir retourner dans le sens contraire: cette circonstance, qui est très-essentielle, demande un plus grand éclaircissement.

Je remarque donc d'abord que les veines et les vaisseaux lymphatiques, dans les corps des animaux, sont des tuyaux d'une construction semblable. Il y a dans les veines de certaines soupapes, représentées *fig.* 115 par les traits *mn*, dont la fonction est que, tant que le sang coule de A vers B, ces soupapes se lèvent et lui accordent un libre passage; mais elles empêchent en même temps le sang de refluer de B vers A.

Car, si le sang voulait couler de B vers A, il pousserait le bout libre de la soupape *n* vers le côté *o* de la veine, et la soupape fermerait le passage entièrement : on se sert de semblables soupapes dans les conduits d'eau pour empêcher que l'eau ne puisse retourner. Par cette raison, je crois ne supposer rien qui soit contraire à la nature quand je dis que les canaux, dans les aimants qui n'admettent que la matière magnétique, sont d'une semblable construction.

Fig. 115.

La *fig.* 116 représente un tel canal magnétique, comme je me l'imagine. Je le conçois velu en dedans, de sorte que les poils sont dirigés de A vers B, et qu'ils n'opposent aucun obstacle à la matière magnétique quand elle passe de A vers B, puisqu'alors ces poils s'ouvrent d'eux-mêmes en *n*, pour laisser passer la matière en o; mais ces mêmes poils ferment d'abord le passage si la matière magnétique voulait rétrograder de B vers A. Voilà donc en quoi consiste la nature des canaux magnétiques : c'est qu'ils ne permettent l'entrée à la matière magnétique qu'au bout A, pour y couler vers B sans aucun empêchement; mais il serait impossible qu'elle les traversât en sens contraire de B vers A.

Fig. 116.

Cette construction nous met en état d'expliquer comment la matière magnétique entre dans ces tuyaux, et comment elle les traverse avec la plus grande rapidité, lors même que l'éther tout entier est dans un repos parfait, ce qui est d'autant plus surprenant; car par où un tel mouvement si rapide peut-il être produit? La chose deviendra très-claire si Votre Altesse veut bien se souvenir que l'éther est une matière extrêmement élastique; donc, la matière magnétique qui est dispersée en sera de toutes parts pressée. Cela posé, soit le canal magnétique AB encore tout à fait vide, et qu'à l'entrée A il se trouve une molécule de la matière magnétique *m*, laquelle, étant pressée de toutes parts excepté là où elle touche le canal (puisque l'éther ne saurait entrer dans le canal), sera poussée avec la plus grande force vers le canal, et ainsi elle y entrera actuellement avec la plus grande rapidité; bientôt une autre molécule de la matière magnétique dont l'éther est copieusement chargé se présentera à l'entrée du canal et y sera poussée avec la même force, et ainsi des molécules suivantes; de sorte qu'il en résultera un flux continuel de matière magnétique par un tel canal; et puisque ce flux ne rencontre aucun obstacle dans le tuyau, la matière magnétique sortira en B avec la même rapidité dont elle est entrée en A.

Je conçois donc que tout aimant contient une grande multitude de tels canaux que je nomme magnétiques, et de là il s'ensuit très-naturellement que la matière magnétique dispersée par l'éther y doit entrer par un bout et sortir par l'autre avec une grande impétuosité; ou bien nous aurons un courant perpétuel de matière magnétique par les canaux de l'aimant. Par là j'espère avoir surmonté les plus grands obstacles qu'on rencontre dans la théorie du magnétisme.

3 novembre 1761.

LETTRE XLVI.

Du tourbillon magnétique, et sur l'action des aimants l'un sur l'autre.

Votre Altesse vient de voir en quoi consiste le caractère distinctif des aimants, savoir, qu'un aimant est pourvu de plusieurs canaux tels que je viens d'en donner la description.

La *fig.* 117 représente un aimant AB avec trois canaux magnétiques *ab*, par lesquels la matière magnétique coulera avec la plus grande rapidité, en y entrant par les bouts *a*, et sortant par les bouts *b* : elle en sortira bien avec la même rapidité; mais, rencontrant d'abord de l'éther mêlé dans l'air grossier, elle y trouvera de très-grands obstacles qui s'opposent à la continuation de son mouvement selon sa direction, et en conséquence son mouvement sera non-seulement ralenti, mais sa direction sera aussi détournée vers les côtés *cc*. La même chose arrivera à l'entrée, vers les bouts *aaa*, ou à cause de la rapidité dont les molécules de la matière magnétique entrent dans ces bouts; le tour viendra bientôt à celles qui sont encore plus vers les côtés *ee*, et qui seront à leur tour remplacées par celles qui, étant sorties des bouts *bbb*, ont déjà été détournées vers *cc*; en sorte que bientôt la même matière magnétique qui est sortie par les bouts *bbb* retourne vers les bouts *aaa* en faisant le tour *bcdea*; et ce mouvement, qui se fera tout autour de l'aimant, est ce que nous nommons *tourbillon magnétique*.

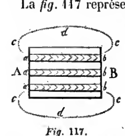


Fig. 117.

Cependant il ne faut pas s'imaginer que c'est toujours la même matière magnétique qui forme ces tourbillons; une bonne partie s'en échappera sans doute, tant vers B que vers les côtés, en faisant le tour; mais, en récompense, il entrera par les bouts *aaa* de la nouvelle matière magnétique; de sorte que la matière qui constitue le tourbillon est compensée et bien variable : cependant il se conservera toujours un tourbillon magnétique dont l'aimant sera entouré, et qui produit les phénomènes observés ci-dessus dans la limaille de fer qu'on jette autour de l'aimant.

Que Votre Altesse fasse attention à cette circonstance, que le mouvement de la matière magnétique dans le tourbillon hors de l'aimant est incomparablement plus lent que dans les tuyaux magnétiques, où elle est séparée de l'éther, y ayant été poussée par

toute la force élastique de l'éther; et que, dès qu'elle sort, elle se mêle de nouveau avec l'éther, et y doit perdre la plus grande partie de son mouvement; de sorte que la vitesse dont elle fait le tour de l'aimant pour rentrer par les bouts *aaa* est incomparablement plus petite que dans les canaux magnétiques *ab*, quoiqu'elle soit encore très-grande à notre égard. Maintenant Votre Altesse comprendra aisément que les bouts des canaux magnétiques par lesquels la matière entre dans l'aimant, et par lesquels elle en sort, sont ce que nous nommons les pôles magnétiques d'un aimant; d'où je dois remarquer que les pôles magnétiques d'un aimant ne sont rien moins que des points mathématiques, toute la place où les uns et les autres bouts des canaux magnétiques aboutissent étant un pôle magnétique, comme dans l'aimant représenté au commencement, où toute la face A et la face B en sont les deux pôles.

Or, comme ces pôles sont distingués en boréal et en méridional, on ne saurait dire si c'est par le pôle boréal ou méridional que la matière magnétique entre dans les aimants. Votre Altesse verra dans la suite que tout phénomène qui est produit tant par l'entrée que par la sortie se ressemblo si parfaitement, qu'il paraît absolument impossible de décider cette question par les expériences. Par cette raison, il sera indifférent de supposer que la matière magnétique entre par le pôle boréal et sort par le méridional, ou bien qu'elle entre par le méridional et sort par le boréal, peu importe.

Mais, quoi qu'il en soit, je marquerai par la lettre A le pôle où la matière magnétique entre, et B l'autre pôle où elle sort, sans me soucier lequel est boréal ou méridional. Maintenant, nous n'avons qu'à réfléchir sur ces tourbillons pour juger comment deux aimants agissent l'un sur l'autre.

Supposons que deux aimants AB et *ab* (*fig.* 118) se regardent par les pôles du même nom A, *a*, et leurs tourbillons seront tout à fait contraires entre eux. La matière magnétique en C entrera en partie par A, en partie par *a*; et ces deux tourbillons tâchant de se détruire l'un l'autre, la matière qui avance par E pour rentrer en A rencontre en D celle de l'autre aimant, qui revient par *e* pour rentrer en *a*; de là il doit naître un choc entre ces deux tourbillons, par lequel l'un repousse l'autre; et cet effet rejaillit sur les aimants mêmes, qui dans cette situation se repoussent l'un l'autre. La même chose arriverait si les deux ai-

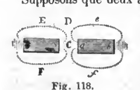


Fig. 118.

mants se regardaient par les autres pôles B et *b*; c'est pourquoi on nomme les pôles du même nom ennemis, puisqu'ils se repoussent mutuellement.

Mais si les aimants se regardent par les pôles de différents noms, il s'ensuivra un effet contraire, et Votre Altesse verra aisément qu'ils se doivent attirer l'un l'autre.

Dans la *fig.* 119, où les deux aimants se regardent par les pôles B et *a*, la matière magnétique qui sort par le pôle B, trouvant d'abord la commodité d'entrer dans l'autre aimant par son pôle *a*, ne se détournera point vers les côtés pour rentrer en A; mais elle passera directement par C dans l'autre aimant, d'où elle sortira en *b*; de là elle fera le tour par les côtés *dd*, pour retourner non pas au pôle *a*, mais au pôle A de l'autre aimant, en faisant le tour par *e* et *f*. Ainsi les tourbillons de ces deux aimants se réuniront dans un seul, comme s'il n'y avait qu'un seul aimant. Or, ce seul tourbillon étant de toutes parts comprimé par l'éther, poussera les deux aimants l'un vers l'autre, et il semblera que les deux aimants s'attirent mutuellement.

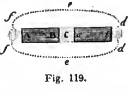


Fig. 119.

Voilà donc la raison pourquoi les pôles de différents noms sont nommés amis, et les pôles du même nom ennemis; et Votre Altesse comprend le phénomène principal des aimants, qui est que les pôles de différents noms s'attirent, et que ceux du même nom se repoussent.

7 novembre 1761.

LETTRE XLVII.

Sur la nature du fer et de l'acier, et de quelle manière ils peuvent recevoir la force magnétique.

Ayant établi la nature de l'aimant dans ces canaux que la matière magnétique peut traverser dans un sens seulement, les soupapes, dont ces canaux sont parsemés, empêchant le retour en sens contraire, Votre Altesse comprendra aisément que ces canaux ne sont qu'une continuation de certains pores de cette figure $\frac{m<}{m<}n$ velus en dedans, dont les poils *mn* sont dirigés en même sens; de sorte que plusieurs semblables particules étant

jointes ensemble et dirigées en même sens, constituent un canal magnétique. Donc il ne suffit pas que la matière de l'aimant renferme plusieurs particules semblables, il faut outre cela qu'elles soient disposées en sorte qu'il en résulte des canaux continués d'un bout à l'autre, afin que la matière magnétique les puisse traverser.

Or, je conçois à présent que tant le fer que l'acier contiennent de semblables particules en grande abondance; mais qui ne sont pas disposées de la façon que je viens de décrire : elles sont plutôt dispersées par toute la masse, et il n'y manque que cette disposition pour que ces corps soient aussi de vrais aimants. Ils conservent bien alors toutes leurs autres qualités, et ne se distinguent des autres morceaux de fer et d'acier que parce qu'ils sont en outre doués des propriétés de l'aimant; une aiguille et un couteau rendent les mêmes services, soit qu'ils aient acquis la vertu magnétique ou non. Le changement qui se fait dans l'intérieur, en rangeant les particules dans l'ordre que le magnétisme exige, ne saurait être remarqué par dehors : or un tel fer ou acier, qui a acquis la force magnétique, est nommé un aimant artificiel pour le distinguer de l'aimant naturel, qui ressemble à une pierre, quoique les propriétés magnétiques soient les mêmes dans les uns et les autres. Votre Altesse sera sans doute curieuse d'apprendre de quelle manière le fer et l'acier peuvent être portés à recevoir la force magnétique, ou devenir des aimants artificiels. La chose est fort aisée, et le seul voisinage d'un aimant est capable de rendre le fer un peu magnétique; c'est le tourbillon magnétique qui produit cet effet, sans que le fer touche l'aimant.

Quelque dur que nous paraisse le fer, les moindres particules qui renferment les pores magnétiques représentés ci-dessus sont très-mobiles dans la substance du fer, et la moindre force suffit pour changer leur situation. Donc, la matière magnétique du tourbillon, en entrant dans le fer, disposera aisément les premiers pores magnétiques qu'elle y rencontre suivant sa direction, au moins ceux dont la situation n'est pas fort différente; et ayant passé ces pores, elle agira de la même manière sur les pores suivants : jusqu'à ce qu'elle se sera pratiqué un passage au travers du fer, et formé par là quelques canaux magnétiques. Or, la figure du fer contribue aussi beaucoup à faciliter ce changement; une figure allongée, et placée selon la direction du tourbillon, y est la plus propre, puisque la matière magnétique, en passant par toute la longueur, y dispose beaucoup de particules dans leur juste situation, pour former des canaux magnétiques plus longs; et il n'y a aucun doute que plus il y aura pour former des canaux, et que

plus ces canaux seront longs sans aucune interruption, plus sera fort le mouvement de la matière magnétique, d'où par conséquent aussi la force magnétique deviendra plus grande.

On a aussi remarqué que lorsqu'on secoue fortement ou frappe le fer posé dans un tourbillon magnétique, il en acquiert un plus haut degré de magnétisme, parce que les moindres particules sont ébranlées par ces secousses, et par là déliées, pour se prêter plus facilement à l'action de la matière magnétique qui les pénètre.

Ainsi, posant une petite barre de fer *ab* (*fig.* 120) dans le tourbillon de l'aimant AB, en sorte que sa direction *ab* convienne à peu près avec celle du courant *dcf* de la matière magnétique; elle traversera aisément la barre et y formera des canaux magnétiques, surtout quand on secoue ou frappe cette barre en même temps, pour faciliter le passage. On voit aussi que la matière magnétique qui entre par le pôle A, et sort par le pôle B de l'aimant, entrera dans la barre par le bout *a*, et sortira par le bout *b*; de sorte que le bout *a* deviendra le pôle du même nom A, et *b* de celui B. Ensuite, ôtant cette barre *ab* du tourbillon magnétique, elle sera un aimant artificiel, quoique bien faible, qui formera son propre tourbillon, et conservera sa force, tant que les canaux magnétiques n'y seront point interrompus. Or, cela arrivera d'autant plus aisément que les pores dans le fer sont mobiles; d'où l'on voit que la même circonstance qui aide à produire le magnétisme sert aussi à le détruire. Un aimant naturel n'est pas tant assujetti à un tel affaiblissement, puisque ses pores tiennent beaucoup plus fermes, et il faut des efforts plus considérables pour les déranger. J'en parlerai plus en détail dans la suite.

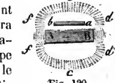


Fig. 120.

Ici je me propose d'expliquer la manière la plus naturelle pour rendre le fer magnétique, quoique la force qu'il en acquiert soit très-petite; cela nous servira à comprendre un phénomène très-remarquable et assez universel. On a observé que les pincettes de cheminée, et d'autres outils de fer qu'on tient ordinairement dans une situation verticale, de même que les barres de fer qu'on met sur les clochers, acquièrent avec le temps une force magnétique assez sensible; aussi s'est-on aperçu qu'une barre de fer étant battue dans une situation verticale, ou après l'avoir fait rougir au feu étant trempée dans l'eau froide dans la même situation, devient un peu magnétique sans l'approche d'aucun aimant.

Pour comprendre la raison de ce phénomène, Votre Altesse n'a qu'à se souvenir que la terre elle-même est un aimant, et consé-

quemment entourée d'un tourbillon magnétique, dont la déclinaison et l'inclinaison de l'aiguille aimantée montre en chaque lieu de la terre la véritable direction; donc, si une barre de fer se trouve long-temps dans cette situation, nous n'avons pas lieu d'être surpris quand elle devient magnétique. Or, nous avons vu aussi qu'ici à Berlin l'inclinaison de l'aiguille aimantée est de 72 degrés; et comme presque partout en Europe elle est environ de la même grandeur, cette inclinaison ne diffère que de 18° de la situation verticale; et ainsi la situation verticale ne diffère pas beaucoup de la direction du tourbillon magnétique. Donc une barre de fer qu'on a tenue long-temps dans la situation verticale sera enfin pénétrée par le tourbillon magnétique, et doit acquérir par conséquent une force magnétique.

En d'autres contrées, où l'inclinaison est insensible, ce qui arrive à peu près sous l'équateur, ce n'est plus la direction verticale qui rend les barres de fer magnétiques; il les faut plutôt poser horizontalement, en sorte que leur direction convienne avec la déclinaison magnétique, si l'on veut qu'elles acquièrent une force magnétique. Je ne parle ici que du fer, l'acier est trop dur pour ce dessein; il faut employer des moyens plus efficaces pour le rendre magnétique.

10 novembre 1761.

LETTRE XLVIII.

Sur l'action des aimants dans le fer, et des phénomènes qu'on observe lorsqu'on met des pièces de fer dans le voisinage d'un aimant.

Quoique la terre tout entière puisse être considérée comme un grand aimant, et qu'elle soit environnée d'un tourbillon magnétique qui dirige partout les aiguilles aimantées, sa force magnétique est pourtant très-faible, et beaucoup plus petite que celle d'un aimant très-médiocre; ce qui paraît très-étrange à cause de l'énorme grandeur de la terre.

Mais la raison en est sans doute que nous sommes très-éloignés des véritables pôles magnétiques de la terre, qui, selon toute apparence, sont ensevelis à une très-grande profondeur : or, quelque fort que soit un aimant, ce n'est que fort près de lui que sa force est considérable; et plus on s'en éloigne, plus elle devient petite et s'évanouit bientôt. Par cette raison, la force magnétique que des masses de fer posées convenablement dans le tourbillon de la terre

acquièrent avec le temps n'est que très-petite et à peine sensible, à moins que le fer ne soit très-mou, qu'il n'ait une figure propre à produire un tourbillon, comme j'ai eu l'honneur de le faire remarquer à Votre Altesse.

Dans le voisinage d'un aimant médiocre cet effet est beaucoup plus considérable, et de petites masses de fer y acquièrent bientôt une force magnétique très-sensible; aussi sont-elles attirées vers l'aimant, tandis que dans le tourbillon de la terre cet effet est imperceptible, et ne consiste qu'à diriger les aiguilles aimantées, sans les attirer ou augmenter leur poids.

Une masse de fer plongée dans le tourbillon d'un aimant nous offre aussi des phénomènes très-curieux, qui méritent bien une explication particulière : d'abord une telle masse est non-seulement attirée vers l'aimant, mais elle attire aussi elle-même d'autres morceaux de fer. Soit AB (*fig.* 121) un aimant naturel, dans le voisinage duquel, près du pôle B, on place la masse de fer CD, et on verra qu'elle est capable de soutenir une barre de fer EF. Qu'on applique à cette barre en F encore une règle de fer GH, dans une situation quelconque, par exemple horizontale, en la soutenant en H, et l'on s'apercevra qu'elle n'est pas seulement attirée par la barre en F, mais qu'elle est aussi capable de supporter en H encore des aiguilles comme IK, et que ces aiguilles agissent de plus sur de la limaille de fer L, en l'attirant.

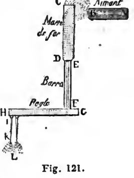


Fig. 121.

De telle manière, on peut propager la force magnétique à des distances très-considérables, et même la faire changer de direction par la diverse position de ces pièces de fer, quoiqu'elle devienne de plus en plus petite. Votre Altesse comprendra aussi aisément que cet effet doit être d'autant plus grand, plus l'aimant AB est fort par lui-même, et que la première masse CD en est plus proche. Feu M. de Maupertuis avait un gros aimant si excellent, qu'à une distance de plusieurs pieds la masse de fer CD exerçait encore une force très-considérable.

Pour expliquer ces phénomènes, Votre Altesse n'a qu'à considérer que la matière magnétique qui sort rapidement par le pôle B de l'aimant entre dans la masse de fer, et y dispose les pores de façon à former des canaux magnétiques, qu'elle traverse ensuite librement. De la même manière, en entrant dans la barre, elle se

39.

formera des canaux magnétiques, et ainsi de suite. Or, dès que la matière magnétique, en sortant d'un corps, entre dans un autre, ces deux corps doivent s'attirer mutuellement, par la même raison que j'ai prouvé que deux aimants qui se regardent par leurs pôles amis doivent s'attirer; et, toutes les fois que nous voyons que deux fers s'attirent, nous pouvons conclure sûrement que la matière magnétique qui sort de l'un entre dans l'autre, par le mouvement continuel dont elle enfile ces corps. C'est ainsi que, dans la disposition représentée des pièces de fer, la matière magnétique enfile, par son mouvement, toutes ces pièces; et c'est la véritable raison de ce qu'elles s'attirent mutuellement.

Ces mêmes phénomènes arrivent également, sans aucune différence, lorsqu'on tourne l'autre pôle A de l'aimant, où la matière magnétique entre vers la masse de fer : alors tout le mouvement devient rétrograde et conserve la même route, car alors la matière magnétique contenue dans la masse de fer s'en échappera pour se précipiter dans l'aimant; et en s'échappant elle fera les mêmes efforts pour y ranger les pores convenablement, de même que si elle entrait dans le fer avec la même rapidité. Pour cet effet, il faut bien que le fer soit assez mou et ses pores aisément flexibles pour obéir aux efforts de la matière magnétique. La seule difficulté que Votre Altesse rencontrera ici sera sans doute pourquoi la matière magnétique, en entrant dans une autre pièce de fer, change de direction et se règle selon la longueur de ces pièces, comme j'ai représenté son cours dans la figure. C'est un article fort important dans la théorie du magnétisme, et qui nous fait voir combien la figure des pièces de fer contribue à la production des phénomènes magnétiques.

Pour éclaircir cette circonstance, il faut se souvenir que notre matière subtile se meut très-aisément par les pores magnétiques où elle est séparée de l'éther, et qu'elle rencontre des obstacles très-considérables lorsqu'elle s'échappe des pores magnétiques avec sa prodigieuse vitesse, pour rentrer dans l'éther et l'air.

Supposons que la matière magnétique, après avoir traversé la barre de fer CD (*fig.* 122), entre dans la règle de fer EF, posée perpendiculairement : en entrant, elle conservera bien la même direction, et sortira en *m*, si elle ne trouvait une route plus aisée pour continuer son mouvement. Or, puisqu'elle rencontre en *m* les plus grands obstacles, elle change d'abord tant soit peu de direction vers F, où, trouvant des pores à la continuation

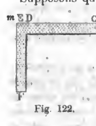


Fig. 122.

de son mouvement, elle se détournera de plus en plus de sa première direction, pour traverser la règle EF dans toute sa longueur. Il en est de même que si la matière magnétique avait peur de sortir du fer; elle tâche de continuer son mouvement au dedans du fer tant qu'il est possible, et la longueur de la règle lui procure ici cette commodité : si elle était très-courte, la matière magnétique échapperait sans doute en *m;* mais à présent elle suit par son mouvement la direction EF que la longueur de la règle lui offre, jusqu'à ce qu'elle est obligée de s'échapper en F, puisque tous les canaux magnétiques, formés selon la même direction, ne permettent point que la matière subtile près de F puisse encore changer de direction, et retourner le long de la règle, ces canaux étant non-seulement remplis de la matière qui suit, mais aussi, par leur nature, incapables de recevoir un mouvement en sens contraire.

14 novembre 1761.

LETTRE XLIX.

Sur l'armature des aimants.

Votre Altesse vient de voir comment le fer est capable de recevoir non-seulement le courant magnétique d'un aimant et de le conduire à des distances assez considérables, mais aussi d'en changer la direction. De là, en joignant à un aimant des pièces de fer, il en est à peu près de même que si l'aimant était devenu plus grand, puisque le fer acquiert la même nature à l'égard de la matière magnétique; et comme par ce moyen on peut encore changer la direction du courant magnétique, puisque les pôles sont les endroits où la matière magnétique entre dans l'aimant et en sort, on est le maître de transporter les pôles où l'on veut.

C'est sur ce principe qu'est fondée l'armature des aimants, qui mérite bien que j'en donne une idée à Votre Altesse, puisque par là les aimants sont portés à un plus haut degré de force.

Ordinairement on donne aux aimants, comme on les tire des mines, la figure d'un parallélipipède, ou d'un parallélogramme rectangle, avec une épaisseur comme AABB (*fig.* 123), où la face AA soit le pôle où la matière magnétique entre, et BB celui où elle sort. Il est donc rempli selon la longueur AB des canaux magnétiques *ab*, que la matière magnétique, sans le mélange d'aucun éther,



Fig. 123.

traverse librement avec la plus grande rapidité, y étant poussée par la force élastique de l'éther. Voyons maintenant de quelle manière on est accoutumé d'armer un tel aimant.

A chaque face AA et BB (*fig.* 124), où se trouvent les deux pôles de l'aimant, on applique des plaques de fer *aa* et *bb*, terminées en bas en des boutons A′ et B′, qu'on nomme les pieds; c'est ce qu'on nomme l'*armature de l'aimant*, et alors on dit qu'il est armé. Dans cet état, la matière magnétique, qui serait échappée par la face BB, entre dans la plaque de fer *bb*, où la difficulté de s'échapper suivant sa direction dans l'air l'oblige de changer de direction et de couler le long de la plaque *bb* dans le pied B′, où elle est bien obligée de sortir, n'y trouvant plus de fer pour y continuer son mouvement. De l'autre côté, il en est de même; toute la matière subtile y sera conduite par le pied A′, d'où elle passera par la plaque *aa*, en changeant de direction pour entrer dans l'aimant et y parcourir les canaux magnétiques : car, d'abord, la matière subtile contenue dans la plaque entre dans l'aimant, et à celle-ci succède celle qui se trouve dans le pied A′, qui est remplacée par celle de dehors, laquelle, y étant poussée par l'élasticité de l'éther, pénètre le pied A′ et la plaque *aa* avec la plus grande rapidité, dont la force est capable d'y arranger les pôles et former des canaux magnétiques.

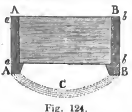


Fig. 124.

L'on voit par là que des deux côtés le mouvement doit être le même, avec cette seule différence que la matière magnétique entrera par le pied A′ et sortira par l'autre pied B′, de sorte que c'est à présent dans ces pieds que se trouvent les pôles de l'aimant armé; et comme les pôles, qui étaient auparavant répandus par les faces AA et BB, sont à présent réunis dans les bases des pieds A et B, il est très-naturel que la force magnétique dans ces nouveaux pôles doit être considérablement plus grande.

Aussi dans cet état le tourbillon magnétique se formera plus aisément; la matière magnétique qui sort par le pied B′ retournera aisément, en passant par C, dans le pied A′, et le reste du corps de l'aimant ne sera plus entouré d'aucun tourbillon, si ce n'est que quelque peu de matière magnétique n'échappe par la plaque *bb*, ne pouvant pas changer de direction si subitement, et qu'il en entre aussi quelque peu par la plaque *aa*, d'où naîtrait aussi un faible tourbillon qui conduirait la matière subtile immédiatement par la plaque *bb* en *aa*. Cependant, si l'armature est bien faite, ce second

tourbillon est presque insensible, et par conséquent le courant entre les pieds d'autant plus fort.

La règle principale de bien armer les aimants est de bien polir tant les deux faces AA et BB de l'aimant que les plaques de fer, de sorte qu'en les y appliquant elles touchent partout parfaitement l'aimant. La raison en est bien évidente, puisque la matière subtile passe aisément de l'aimant dans le fer quand il n'y a point d'autre matière entre eux; mais dès qu'il y aurait un vide ou de l'air entre l'aimant et les plaques, la matière magnétique y perdrait presque tout son mouvement, son cours serait interrompu, et ne suffirait plus pour se frayer le chemin par le fer, en y formant des canaux magnétiques.

Outre cela, le fer le plus mou ou le plus doux est le plus propre pour ces armatures, puisque ses pores sont très-pliables, et se rangent fort aisément selon le courant de la matière magnétique; aussi un tel fer paraît-il très-propre à faire changer subitement la direction du courant; et il semble que la matière magnétique affecte d'y poursuivre sa route aussi long-temps qu'il est possible, et qu'elle n'en sort que lorsqu'il ne lui est plus possible d'y continuer son mouvement : elle aime mieux faire le plus grand tour que de le quitter. Cela n'arrive pas dans l'aimant même, puisque les canaux magnétiques y sont déjà formés, ni dans l'acier, dont les pores n'obéissent pas si aisément aux efforts d'un courant magnétique. Mais quand une fois dans l'acier de tels canaux sont formés, ils se maintiennent aussi plus long-temps, et conservent par là leur force magnétique; pendant que le fer doux, quelque force qu'il ait exercée dans le voisinage d'un aimant, la perd presque tout à fait dès qu'on l'en ôte.

Pour les autres circonstances de l'armature, il faut consulter l'expérience; comme, par rapport à l'épaisseur des plaques, on trouve qu'une trop grande est aussi bien nuisible qu'une trop mince : mais pour la plupart, les plaques les plus convenables sont très-minces; ce qui pourrait paraître fort étrange, si nous ne savions pas que la matière magnétique est encore beaucoup plus subtile que l'éther, et que par conséquent la plus mince plaque est suffisante pour en recevoir une très-grande quantité.

18 novembre 1761.

coup plus que si on le chargeait d'une seule pièce, où la figure entre aussi principalement en considération. Mais pour lui faire porter la plus grande charge qu'il soit possible, il faut faire en sorte que les deux pôles réunissent leurs forces.

Pour cet effet on applique aux deux pôles A′ et B′ (*fig.* 126) un morceau de fer doux CD, qui touche parfaitement les bases des pieds, et dont la figure soit telle, que la matière magnétique qui sort par B y trouve le plus commode passage pour rentrer par l'autre bout A′. Un tel morceau de fer est nommé le support de l'aimant; et puisqu'en B′ la matière magnétique en sortant de l'aimant y entre, et qu'en A′ en sortant du support elle entre dans l'aimant, le support sera attiré aux deux pôles à la fois, et y tiendra par conséquent avec une force très-grande. Pour connaître cette force réunie que l'aimant exerce, on attache au support par le milieu E un poids P, qu'on augmente jusqu'à ce que l'aimant ne soit plus capable de le soutenir, et alors on dit que ce poids contrebalance la force magnétique de l'aimant : ainsi Votre Altesse entendra, quand on dit que tel aimant porte dix livres, un autre trente livres, etc. On prétend aussi que le cercueil de Mahomet est porté par la force d'un aimant; ce qui ne serait pas impossible, puisqu'on a déjà fait des aimants artificiels qui portent au delà de 100 livres.

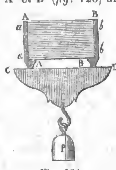


Fig. 126.

Un aimant garni de son support ne laisse rien échapper de la matière magnétique, qui achève son tourbillon tout entier au dedans de l'aimant et du fer, de sorte que rien n'en échappe dans l'air. Donc, puisque le magnétisme n'exerce sa force qu'en tant que la matière magnétique s'échappe d'un corps pour rentrer dans l'autre, un tel aimant, dont le tourbillon est fermé, ne devrait nulle part exercer aucune force magnétique : cependant, quand on le touche sur la plaque en *a* avec la pointe d'une aiguille, on y sentira une forte attraction. La raison en est, parce que, la matière magnétique étant obligée de changer subitement de direction pour entrer dans les canaux de l'aimant, elle trouve à présent une route plus commode en traversant l'aiguille, et par conséquent elle sera attirée à la plaque *aa*. Mais par là même le tourbillon en dedans sera dérangé, il ne coulera plus si copieusement dans les pieds; et si l'on touche la plaque par plusieurs aiguilles, ou qu'on y applique des règles de fer plus fortes, on détruira tout à fait le courant par

les pieds, et la force qui attire le support s'évanouira entièrement de sorte que le support en sera aisément arraché. L'on reconnaît par là que les pieds perdent autant de leur force magnétique que l'aimant en exerce en d'autres endroits, et par là on est en état d'expliquer plusieurs phénomènes très-surprenants, qui, sans la théorie, seraient absolument insolubles.

C'est ici qu'il faut aussi rapporter l'expérience qui nous apprend qu'après avoir appliqué à un aimant armé son support, on peut de jour en jour augmenter le poids qu'il est capable de porter, et qu'il portera enfin un poids qui surpasse souvent le double de celui qu'il aura porté d'abord. Il s'agit donc de faire voir comment, avec le temps, la force magnétique dans les pieds de l'armature peut devenir plus grande. Or le cas rapporté ci-dessus, sur le dérangement du tourbillon, nous apprend qu'aussitôt qu'on a appliqué le support, le courant de la matière magnétique sera encore assez irrégulier; qu'une bonne partie s'en échappera encore par la plaque *bb*, et que ce ne sera qu'avec le temps qu'elle se frayera par le fer des canaux magnétiques : aussi est-il probable que lorsque le courant est devenu plus libre, il s'en formera de nouveaux dans l'aimant même: en tant qu'il contient, outre ses canaux fixes, encore des pôles mobiles comme le fer. Mais, dès qu'on arrache le support, le courant est troublé par là; et ces nouveaux canaux en grande partie détruits, la force redevient subitement aussi petite qu'elle a été au commencement; et il faut attendre de nouveau quelque temps jusqu'à ce que ces canaux, avec le tourbillon, soient remis dans leur état précédent. J'avais autrefois fait un tel aimant artificiel, qui d'abord ne portait que dix livres; et après quelque temps, je fus très-surpris de voir qu'il en portait plus de trente. Au reste, on remarque cela principalement dans les aimants artificiels, que le seul temps les renforce très-considérablement, mais aussi que cet accroissement de force ne dure que jusqu'à ce qu'on en arrache le support.

21 novembre 1761.

LETTRE LI.

Sur la manière de communiquer à l'acier la force magnétique; de la manière d'aimanter les aiguilles de boussoles; de la simple touche, de ses défauts et des moyens d'y remédier.

Après avoir expliqué à Votre Altesse la nature des aimants en général, il me reste un article aussi curieux qu'intéressant, qui

regarde la manière dont on communique au fer et principalement à l'acier la force magnétique, et même la plus grande qu'il est possible.

Votre Altesse a bien vu que, plaçant du fer dans le tourbillon magnétique d'un aimant, il acquiert une force magnétique, mais qui s'évanouit presque tout à fait dès qu'on l'éloigne de l'aimant, et que le seul tourbillon de la terre est capable d'imprimer au fer, avec le temps, une légère force magnétique : or, l'acier étant plus dur que le fer, et presque tout à fait insensible à cette action d'un tourbillon magnétique, il faut des opérations plus fortes pour le rendre magnétiquo, mais aussi conserve-t-il alors cette force magnétique plus long-temps.

Pour cet effet, il faut recourir à l'attouchement et même au frottement; je commencerai donc par expliquer de quelle manière on s'est servi autrefois pour rendre magnétiques les aiguilles dont on se sert dans les boussoles : toute cette opération ne consistait qu'à les frotter à un pôle d'un aimant excellent, soit nu, soit armé.

On posait l'aiguille *abc* (*fig.* 127) sur une table, et on passait le pôle B de l'aimant par-dessus de *b* vers *a*, et étant parvenu au bout *a*, on levait l'aimant bien haut, et on le ramenait par l'air en *b* : on répétait cette opération plusieurs fois de suite, et on prenait toujours bien garde que l'autre pôle de l'aimant n'approchât point de l'aiguille, puisqu'il y gâterait tout. Après avoir passé quelquefois le pôle B de l'aimant sur l'aiguille de *b* en *a*, on verra que l'aiguille est devenue magnétique, et que le bout *b* sera le pôle du même nom que celui de l'aimant dont on a frotté. Donc, si l'on veut que le bout *b* devienne le bout boréal, en frottant avec le pôle boréal de l'aimant, il faut passer de *b* vers *a*; mais si l'on voulait frotter avec le pôle méridional de l'aimant, il faudrait l'appliquer au bout *a*, et le passer au bout *b*.

B
b
c
a

Fig. 127.

Cette manière de frotter ou toucher est nommée *à la simple touche*, puisqu'on ne touche que d'un seul pôle ; mais elle est fort défectueuse, et ne communique à l'aiguille que peu de force, l'aimant fût-il même très-excellent : aussi ne réussit-elle pas lorsque l'acier est porté au plus haut degré de dureté, ce qui serait pourtant l'état le plus propre pour la conservation du magnétisme. Votre Altesse jugera elle-même fort aisément des défauts de cette manière à la simple touche.

Supposons que B soit le pôle de l'aimant par où sort la matière magnétique, puisque les effets des deux pôles sont si semblables,

qu'il est impossible d'y remarquer la moindre différence. Ayant posé le pôle sur le bout *b* de l'aiguille, la matière magnétique y entre avec toute la rapidité dont elle se meut dans l'aimant, et qui est incomparablement plus grande que celle du tourbillon qui est hors de l'aimant dans l'air. Mais que deviendra cette matière dans l'aiguille? Elle ne saurait sortir par le bout *b;* elle s'efforcera donc de percer par l'aiguille vers *a;* et le pôle B, marchant du même côté, favorisera ces efforts; mais dès que le pôle B parviendra vers *a*, la difficulté de sortir par le bout *a* causera des efforts contraires, dont la matière magnétique sera poussée de *a* vers *b;* et avant que le premier effet soit entièrement détruit, celui-ci ne saurait avoir lieu. Ensuite, quand on porte de nouveau le pôle B sur le bout *b*, on détruit encore ce dernier effet, mais pourtant sans produire un courant en sens contraire de *b* vers *a;* et par conséquent lorsque le pôle B parviendra au delà de *c* vers *a*, il produira aisément un courant de *a* vers *b*, surtout quand on appuiera plus fort sur la moitié *ca* : d'où il est clair que l'aiguille ne saurait acquérir que peu de force magnétique.

Quelques-uns aussi ne frottent que la moitié *ca* en passant de *c* vers *a;* et d'autres ne font que toucher le bout *a* de l'aiguille par le pôle B de l'aimant, et cela à peu près avec le même succès. Mais il est évident que la matière magnétique qui entre par le seul bout *a* ne saurait agir assez vigoureusement sur les pores de l'aiguille pour les arranger conformément à la nature magnétique, et que la force qui lui sera imprimée par cette méthode doit être très-petite et même nulle, si l'acier est bien trempé.

Or il me semble qu'on pourrait remédier à ces défauts de la simple touche de la manière suivante, du succès de laquelle je ne doute point, quoique je ne l'aie point essayée, puisque d'autres expériences semblables m'en assurent.

Je voudrais enchâsser le bout *b* (*fig.* 128) de l'aiguille dans une règle de fer doux EF, et je crois qu'il serait bon de faire cette règle très-mince, et aussi étroite qu'il est possible; mais le bout *b* doit être parfaitement appliqué, et même enchâssé dans un creux bien ajusté. Quand on pose le pôle B de l'aimant sur le bout *b* de l'aiguille, la matière magnétique qui y entre, ne trouvant presque aucune difficulté à traverser la règle de fer, prendra d'abord son cours dans la direction *bd;* et à mesure que le pôle avance vers *a*, la matière magnétique, pour continuer ce cours, n'a qu'à arranger les pores sur lesquels elle

Fig. 128.

agit immédiatement; et quand on sera parvenu jusqu'en *a*, tous les pores, ou au moins la plupart, seront déjà disposés suivant cette direction. Ensuite, quand on recommence à frotter le bout *b*, on ne détruit rien, mais on continue de perfectionner le courant de la matière magnétique suivant la même direction *bd*, en arrangeant aussi les pores qui ont résisté à la première opération; et ainsi les canaux magnétiques dans l'aiguille deviendront de plus en plus parfaits. Or, quelques traits du pôle B seront suffisants pour cet effet, pourvu que l'aimant ne soit pas très-faible, et je ne doute pas que l'acier le mieux trempé, ou rendu aussi dur qu'il est possible, n'obéisse à cette méthode; ce qui est un grand avantage pour la construction des boussoles, puisqu'on a remarqué que les aiguilles ordinaires perdent souvent, par un léger accident, toute leur force magnétique, ce qui exposerait les vaisseaux aux plus grands dangers, si l'on n'en avait pas d'autres en réserve. Mais quand on fait les aiguilles d'un acier bien trempé, ces accidents ne sont point à craindre; et comme il faut plus de force pour les rendre magnétiques, elles conservent aussi cette qualité avec plus de vigueur.

24 novembre 1761.

LETTRE LII.

Sur la double touche, et les moyens de conserver la matière magnétique dans les barres aimantées.

Au lieu de cette méthode d'aimanter le fer ou l'acier par la simple touche, en le frottant d'un seul des pôles d'un aimant, on se sert aujourd'hui de la *double touche*, où l'on frotte avec les deux pôles à la fois, ce qui se fait aisément par un aimant armé.

Soit EF (*fig.* 129) une barre de fer ou d'acier qu'on veut rendre magnétique: après l'avoir bien fixée sur une table, on y pose les deux pieds A et B d'un aimant. Dans cet état, Votre Altesse verra aisément que la matière magnétique qui sort de l'aimant par le pied B pénétrera dans la barre, et s'y

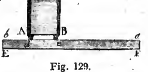


Fig. 129.

répandrait en tous sens, si le pied A n'attirait de son côté la matière magnétique contenue dans les pores de la barre. Cet épuisement en *d* déterminera donc la matière qui entre par le pôle B à prendre son cours de *c* vers *d*, pourvu que les deux pôles A et B ne

soient pas trop éloignés l'un de l'autre. Alors le courant magnétique se frayera un chemin dans la barre, pour passer du pôle B dans le pôle A, en y disposant les pores à former des canaux magnétiques. Il est fort aisé de s'assurer si cet effet arrive : on n'a qu'à voir si l'aimant est fortement attiré à la barre ; ce qui ne manque jamais si la barre est de fer doux, puisque la matière magnétique le pénètre aisément. Mais si la barre est d'acier, l'attraction est souvent fort petite ; ce qui est alors une marque que la matière magnétique n'est pas capable de s'ouvrir de passage de *c* vers *d* ; d'où l'on conclut, ou que l'aimant est trop faible, ou que l'espace entre ses deux pôles est trop grand : il faudra donc dans ce cas employer un autre aimant, ou plus fort, ou dont les pieds soient plus proches, ou enfin changer l'armature de l'aimant de la manière représentée (*fig.* 130).



Fig. 130.

Mais j'aurai bientôt l'honneur de proposer d'autres moyens pour remédier à cet inconvénient.

Ayant donc disposé dans les petits intervalles *cd* (*fig.* 129) les pores convenablement au magnétisme, on n'a qu'à passer et repasser plusieurs fois l'aimant sur la barre d'un bout à l'autre sans l'en ôter, jusqu'à ce qu'on s'aperçoive que l'attraction n'augmente plus : car c'est un principe bien sûr que l'attraction croît à mesure que la force magnétique augmente. Par cette opération, la barre EF deviendra magnétique, en sorte que le bout E, vers lequel le pôle B était tourné, sera le pôle ami de A, et par conséquent du même nom que l'autre pôle B. Ensuite, en ôtant l'aimant, puisque des canaux magnétiques sont formés par toute la longueur de la barre, la matière magnétique répandue dans l'air traversera ces canaux, et fera de la barre un véritable aimant. Elle entrera par le bout *a* et sortira par le bout *b*, d'où une partie, au moins, retournera en *a*, et formera un tourbillon, selon que la figure de la barre le permet.

A cette occasion, je remarque que la formation d'un tourbillon est absolument nécessaire à augmenter le magnétisme ; car si toute la matière magnétique qui sort par le bout *b* échappait et se dispersait entièrement, sans retourner en *a*, l'air ne suffirait pas à en fournir assez à l'autre bout *a*, ce qui diminuerait la force magnétique. Mais si une bonne partie de celle qui échappe par le bout *b* retourne en *a*, l'air est bien suffisant pour fournir le reste, et peut-être encore davantage, si les canaux magnétiques de la barre sont capables de la recevoir ; dans ce cas donc, la barre acquerra une beaucoup plus grande force magnétique.

Cette considération me conduit à exposer à Votre Altesse de quelle manière on peut conserver la matière magnétique dans les barres aimantées. Comme il s'agit d'empêcher que la matière magnétique qui les traverse ne se disperse dans l'air, on dispose ces barres toujours par paires qui sont de la même grandeur. On les met dans une situation parallèle sur une table, en sorte que les pôles amis ou de différents noms soient tournés du même côté (*fig.* 131).

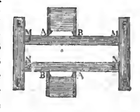


Fig. 131.

MM et NN représentent les deux barres dont les pôles amis *a*, *b*; *b*, *a*, sont tournés du même côté. Pour ne pas se tromper, on fait d'abord sur chaque barre une marque, comme ×, au bout où est le pôle boréal, et on leur applique de chaque côté un morceau de fer doux EE et FF, pour recevoir le courant magnétique. De cette manière, toute la matière magnétique qui traverse la barre MM et sort par le bout *b* passe dans le morceau de fer EE, et s'y ouvre aisément le chemin pour passer dans le bout *a* de l'autre barre NN, d'où elle entrera par le bout *b* dans l'autre morceau de fer FF, qui la reconduit dans la première barre MM par le bout *a*. C'est ainsi que la matière magnétique continuera à circuler, sans qu'il en échappe rien; et, en cas même qu'il n'y en eût pas d'abord assez pour remplir le tourbillon, l'air y fournira le reste, et le tourbillon par les deux barres demeurera dans toute sa force.

On peut aussi d'abord employer cette disposition des deux barres pour les aimanter l'une et l'autre à la fois. On n'a qu'à passer les deux pôles d'un aimant sur les deux barres, en passant de l'une à l'autre par les morceaux de fer, et de cette manière faire plusieurs tours, en faisant bien observer que les deux pôles de l'aimant A et B soient tournés comme la figure ci-dessus l'indique.

Cette manière d'aimanter deux barres à la fois sera sans doute plus efficace que la précédente, puisque, dès le premier tour qu'on aura fait avec l'aimant, la matière magnétique commencera à couler par les deux barres, moyennant les deux morceaux de fer. Ensuite, en continuant à passer l'aimant sur les deux barres, on y rangera une plus grande quantité de pores conformément au magnétisme, et on y ouvrira plusieurs canaux magnétiques, dont le tourbillon magnétique sera de plus en plus fortifié, sans qu'il souffre aucun affaiblissement. Si les barres sont épaisses, il sera bon de les tourner et de les frotter aussi sur les autres faces, de la même manière, afin que l'action magnétique les pénètre tout à fait.

Ayant déjà acquis de telles barres magnétiques MM, NN (*fig.* 132), on peut s'en servir au lieu d'un aimant naturel pour en aimanter d'autres. On les joint en haut ensemble, de sorte que les deux pôles amis *a*, *b* se touchent; et en bas on éloigne les deux autres pôles amis *b* et *a*, autant qu'on le juge à propos. Ensuite, par les deux bouts d'en bas qui tiennent lieu des deux pôles d'un aimant, on frotte deux autres barres EF de la manière que j'ai expliquée ci-dessus.

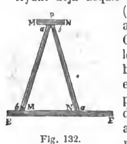


Fig. 132.

Comme ces deux barres sont jointes en forme de compas, on a la commodité de les ouvrir aussi peu qu'on veut, à quoi un aimant n'est pas propre; or, en haut, où les barres se touchent, le courant magnétique passera aisément de l'une dans l'autre; on y pourrait encore mettre un petit morceau de fer doux P, pour mieux entretenir ce courant; et de cette manière on aimantera très-promptement autant de doubles barres qu'on voudra.

28 novembre 1761.

LETTRE LIII.

Comment on communique à des barres d'acier une force magnétique très-grande, par le moyen d'autres barres qui n'en ont qu'une très-faible.

Quoique cette manière d'aimanter à double touche soit fort préférable à la précédente, on ne saurait cependant porter la force magnétique au delà d'un certain degré. Soit qu'on se serve d'un aimant naturel ou de deux barres magnétiques pour frotter d'autres barres, celles-ci n'acquerront jamais tant de force que celles-là; l'effet ne saurait jamais être plus grand que la cause.

Si les barres dont on frotte ont peu de force, les autres qui en sont frottées en auront encore moins; la raison en est évidente; car comme des barres destituées de toute force magnétique n'en sauraient produire en d'autres, une petite force magnétique n'est pas capable d'en produire une plus grande, au moins par la méthode que je viens de décrire.

Mais on ne doit pas prendre à la rigueur cette règle, comme s'il était absolument impossible de produire une plus grande force magnétique à l'aide d'une plus petite. J'aurai l'honneur d'expliquer à Votre Altesse une méthode par laquelle on est en état d'augmenter

la force magnétique presque aussi loin qu'on voudra, et cela en commençant par la plus petite. C'est une découverte de ces derniers temps, qui mérite d'autant plus d'attention, qu'elle nous éclaircit incomparablement mieux sur la nature du magnétisme.

Supposons donc qu'on n'ait d'abord qu'un très-faible aimant, ou bien, au défaut d'un aimant naturel, des barres de fer rendues tant soit peu magnétiques par le seul tourbillon de la terre, comme j'ai eu l'honneur de l'exposer à Votre Altesse dans mes lettres précédentes. Alors, qu'on se procure huit barres d'acier qui ne soient que fort petites et non trempées, pour recevoir plus aisément la petite force magnétique que le faible aimant, ou les barres mentionnées, que je suppose tant soit peu magnétiques, sont capables de leur communiquer en frottant chaque paire ou couple de la manière que j'ai exposée précédemment. Ayant maintenant quatre paires de barres tant soit peu magnétiques, qu'on en prenne deux paires, et qu'on les joigne ensemble.

Des deux barres, en les réunissant ensemble par les pôles du même nom, on n'en fait qu'une seule d'une épaisseur double, et alors on forme le compas des deux barres doublées AC et BD (*fig.* 133), qui se touchent en haut CD, où, pour mieux entretenir le courant magnétique, on peut mettre un morceau de fer doux P. En bas, on en ouvre les jambes, autant qu'on le juge à propos, et on en frotte les autres paires l'une après l'autre, qui par ce moyen acquerront plus de force qu'auparavant, puisque deux paires y réunissent leurs forces. A présent on n'a qu'à joindre ces deux paires nouvellement frottées ensemble de la même manière, et en frotter, l'une après l'autre, les deux autres paires dont on s'était servi la première fois, et la force de celle-ci sera considérablement augmentée. On joindra ensuite ces deux paires ensemble, et on frottera encore les autres pour y augmenter la force magnétique; et ainsi on continuera de frotter alternativement deux paires par les deux autres jointes ensemble. Par cette opération, on les portera bientôt à un degré de force tel, qu'il ne sera plus susceptible d'augmentation ultérieure, quand même on la continuerait plus long-temps. Quand on a plus de quatre paires de telles barres, au lieu de deux paires, on en peut aussi joindre trois ensemble, et en frotter ensuite les autres paires : par ce moyen on les portera plus vite au plus haut degré.

Fig. 133.

Maintenant les plus grands obstacles sont surmontés; et à présent par le moyen de ces barres, en joignant deux ou même plu-

sieurs paires ensemble, on en frottera d'autres faites d'un acier bien trempé, et qui soient, ou de la même grandeur, ou encore plus grandes que les premières, et de cette façon on communiquera aussi à celles-ci la plus grande force dont elles soient susceptibles.

En commençant par de petites barres telles que je viens de décrire, on peut pousser ces opérations successivement jusqu'à des barres d'une énorme grandeur et faites d'un bon acier trempé, où la force magnétique est le moins assujettie à la destruction. Il faut seulement observer que, pour frotter de grandes barres, il faut en joindre plusieurs paires ensemble, dont le poids soit au moins deux fois plus grand que celui d'une grande barre. Mais il vaudra toujours mieux aller par degrés, et frotter chaque espèce des barres par d'autres qui ne sont pas beaucoup plus petites, où il suffirait d'en joindre deux paires ensemble : car, quand on est obligé de joindre plusieurs paires ensemble, les bouts par lesquels on frotte auront une trop grande étendue, et la matière magnétique, qui passe par là, s'empêchera elle-même de se diriger suivant la barre frottée; et cela d'autant plus qu'elle entre dans la barre perpendiculairement, tandis qu'il est nécessaire qu'elle y prenne une direction horizontale.

Pour faciliter ce changement de direction, il est bon que la matière magnétique y soit conduite par un petit espace, et qu'elle ait déjà une direction approchante de celle qu'elle doit prendre au dedans de la barre touchée; je crois qu'on réussirait à cet égard de la manière suivante :

La *fig.* 134 représente cinq paires MM NN, jointes ensemble, mais non pas en forme de compas. En haut, il y a une barre de fer doux CD pour entretenir le tourbillon; en bas, je ne frotte pas immédiatement par les bouts des barres, mais de chaque côté j'enchâsse ces bouts dans un pied de fer doux, en les y affermissant par quelques vis O. Chaque pied se courbe en bas AB, en sorte que la direction de la matière magnétique, qui traverse librement ces pieds, s'approche déjà beaucoup de l'horizontale, et que dans la barre frottée EF elle n'a pas besoin de changer beaucoup de direction. Par le moyen de ces pieds, je ne doute nullement que la barre EF ne reçoive une beaucoup plus grande force magnétique que si on la frottait immédiatement par les bouts des barres, dont la grosseur et la direction verticale s'opposent naturellement à la formation des canaux magnétiques dans

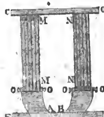


Fig. 134.

la barre EF : aussi peut-on, en suivant cette méthode, approcher ou éloigner les extrémités des pieds A et B à volonté.

Enfin, je ne dois pas omettre de remarquer que lorsque ces barres perdent avec le temps de leur force magnétique, on les rétablit aisément par les mêmes opérations.

1er décembre 1761.

LETTRE LIV.

Sur la fabrique des aimants artificiels en forme de fers à cheval.

Quiconque veut faire des expériences sur le magnétisme doit être pourvu d'un grand nombre de telles barres magnétiques, depuis les plus petites jusqu'aux plus grandes, dont chacune peut être regardée comme un aimant à part, ayant ses deux pôles, l'un boréal et l'autre méridional.

Votre Altesse trouvera très-remarquable que, moyennant la plus faible force magnétique que nous fournit, soit un misérable aimant naturel, soit quelques pincettes de la cheminée, qui par le temps ont contracté un peu de magnétisme, on soit en état d'augmenter cette force de plus en plus, jusqu'à faire les plus grandes barres d'acier douées du plus haut degré de force magnétique dont elles soient susceptibles. Il serait superflu d'ajouter que par cette méthode on peut faire les meilleures aiguilles aimantées, non-seulement beaucoup plus grandes que les ordinaires, mais aussi faites d'un acier trempé au plus fort, ce qui les rend plus durables. Je dirai encore quelque chose sur la fabrique des aimants artificiels, qui ont pour la plupart la figure d'un fer à cheval, comme Votre Altesse se souviendra d'en avoir vu.

Ces aimants artificiels rendent dans toutes les occasions les mêmes services que les naturels, et nous procurent, outre cela, l'avantage d'en avoir de plus forts, en leur donnant une grandeur suffisante. On les fait d'acier bien trempé, et la figure d'un fer à cheval semble la plus propre pour maintenir le tourbillon. Apres que l'ouvrier a fait une telle pièce, on lui communique la force magnétique, et même la plus grande dont elle soit susceptible, par le moyen des barres magnétiques dont j'ai expliqué la construction. On comprend aisément que plus un tel aimant est grand, plus on y doit employer de grandes barres: et c'est la principale raison pourquoi on doit être pourvu de toutes sortes de barres.

Pour aimanter donc un tel fer à cheval HIG (*fig.* 135), qui doit être fait d'un acier bien trempé, on pose sur la table une paire de barres magnétiques AC et BD, avec leurs supports de fer doux appliqués des deux côtés, dont la figure ne représente que l'un EF, l'autre en ayant été ôté à mesure qu'on y a appliqué les pieds du fer à cheval, comme on le voit dans la figure. Dans cet état, la matière magnétique qui traverse les barres fera des efforts pour passer par le fer à cheval; mais, à cause de la dureté de l'acier trempé, elle ne sera pas suffisante pour y ranger les pores et s'ouvrir un chemin. Il faut donc employer le même moyen dont on se sert pour aimanter les barres. On prend un compas formé d'une autre paire de barres magnétiques, et on le fait passer de la même manière sur le fer à cheval, en tournant les jambes du compas convenablement aux pôles du fer à cheval : de cette manière on y ouvrira les canaux magnétiques, et la matière subtile des barres, en les traversant, formera le tourbillon magnétique. Or, dans cette opération, il faut prendre garde que les jambes du compas, en les passant sur le fer à cheval, ne touchent point les bouts A et B des barres; cela troublerait le courant de la matière magnétique qui passerait immédiatement des barres dans les jambes du compas, ou bien les tourbillons des barres et du compas se dérangeraient mutuellement.

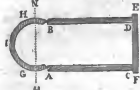


Fig. 135.

Par cette opération, le fer à cheval acquerra une grande force magnétique, étant traversé par un courant magnétique très-copieux; de sorte qu'il ne s'agit maintenant que de le détacher des barres, sans que le courant y soit dérangé. Si on l'arrachait brusquement, le tourbillon magnétique serait détruit, et notre aimant artificiel en retiendrait très-peu de force; ce que nous découvre aussi la nature du magnétisme.

Car puisque les canaux magnétiques ne se conservent qu'en tant que la matière magnétique les traverse actuellement, nous en concluons que les moindres particules qui forment par leurs pores ces canaux se trouvent dans un état forcé, qui ne se maintient que tant que la force du tourbillon y agit; et dès que cette force cesse, ces particules, par leur élasticité, se détourneront tant soit peu de leur situation, et les canaux magnétiques seront subitement interrompus et détruits. Nous voyons cela très-clairement dans le fer doux, dont les pores se rangent promptement à l'approche d'un tourbillon magnétique, mais ne conservent presque aucune force

magnétique dès qu'on s'en éloigne; ce qui prouve suffisamment que les pores du fer sont aisément mobiles, mais en même temps doués d'un ressort qui en change d'abord la situation dès que la force cesse. Ce n'est qu'après un très-long temps que quelques pores se fixent dans la position qui leur a été imprimée par la force magnétique, et cela arrive surtout dans les barres de fer exposées long-temps au tourbillon de la terre. L'acier a bien ses pores moins flexibles, et qui se maintiennent mieux dans l'état auquel ils ont été forcés; mais ils sont pourtant assujettis à quelque dérangement dès que la force cesse d'y agir, mais d'autant moins que l'acier est plus dur. C'est aussi la raison pour laquelle les aimants artificiels doivent être faits d'un acier très-bien trempé; si on les faisait de fer, ils acquerraient bien d'abord une très-grande force, étant appliqués aux barres magnétiques; mais aussi, au même moment qu'on les en détacherait, toute la force s'évanouirait subitement. C'est pourquoi il faut aussi prendre des précautions en détachant des barres les aimants faits d'un acier bien trempé. Pour cet effet, avant que de les en séparer, on y pose leurs supports faits d'un fer bien mou, selon la ligne MN dans la *fig.* 136, en prenant garde que le support ne touche point les barres; ce qui gâterait tout, et nous obligerait de recommencer les opérations. Alors une bonne partie de la matière magnétique qui circule dans l'aimant GHI prendra sa route par le support, et formera un tourbillon à part, qui se conservera aussi après la séparation.



Fig. 136.

Ensuite on pousse lentement le support sur les jambes de l'aimant jusqu'aux bouts, comme on voit par la figure citée; et dans cet état on le laisse reposer pendant quelque temps, afin que le tourbillon s'affermisse de plus en plus. On charge aussi le support d'un poids P, qu'on peut augmenter tous les jours; et on comprend aussi aisément que le support doit être tellement ajusté, qu'il touche parfaitement les pieds de l'aimant.

5 décembre 1761.

LETTRE LV.

Sur la dioptrique; des instruments qu'elle nous fournit pour renforcer notre vue; des télescopes et des microscopes. Des différentes figures qu'on donne aux verres ou lentilles [1].

Je crois que les merveilles de la dioptrique seront un sujet assez digne de l'attention de Votre Altesse. La dioptrique nous fournit deux sortes d'instruments composés de verres, qui servent à augmenter notre vue pour découvrir des objets qui échapperaient à la vue simple.

Il y a deux cas où notre vue a besoin de secours : le premier est lorsque les objets sont trop éloignés de nous pour que nous puissions les voir distinctement; tels sont les corps célestes, sur lesquels on a fait les plus importantes découvertes par le moyen de ces instruments de dioptrique. Votre Altesse se souviendra, par exemple, très-bien de ce que j'ai eu l'honneur de lui dire sur les satellites de Jupiter, qui nous conduisent à la découverte de la longitude : ils ne sont visibles que par le secours de bonnes lunettes, et les satellites de Saturne en demandent encore de plus excellentes.

Tels sont encore, sur la surface de la terre, les objets fort éloignés qu'on ne saurait voir et examiner exactement que par le secours de lunettes, qui nous les représentent de la même manière que si nous les voyions de près. Ces lunettes ou instruments de dioptrique, dont on se sert pour regarder les objets fort éloignés, sont aussi nommés *télescopes* et lunettes d'observation.

L'autre cas où notre vue a besoin de secours, est lorsque les objets, quoique assez proches de nous, sont trop petits pour que nous en puissions distinguer les parties. Si l'on voulait, par exemple, découvrir toutes les parties d'une jambe de mouche ou de quelque autre insecte plus petit; s'il s'agissait d'examiner les moindres particules de notre propre corps, comme les fibres les plus petites de nos muscles, de nos nerfs, on n'y saurait réussir sans le secours de certains instruments qu'on nomme *microscopes*, qui nous représentent les petits objets de la même manière que s'ils étaient cent et même mille fois plus grands.

Voilà donc les deux sortes d'instruments, les télescopes et les microscopes, par lesquels la dioptrique supplée à la faiblesse de notre vue. Il n'y a que quelques siècles que ces instruments ont été

1. Voyez dans la première partie les lettres XXXIX à XLIV.

inventés, et ce n'est que depuis ce temps qu'on a fait les plus importantes découvertes, tant dans l'astronomie, à l'aide des télescopes et lunettes, que dans la physique, à l'aide des microscopes.

Tous ces effets merveilleux ne sont produits que par une certaine figure qu'on donne à des morceaux de verre, et par une heureuse combinaison de deux ou plusieurs de ces verres qu'on nomme *lentilles*. La dioptrique est la science qui en renferme les principes; et Votre Altesse se souviendra encore qu'elle roule principalement sur la route que tiennent les rayons de lumière, lorsqu'ils traversent des intermédiaires transparents de différente qualité, lorsqu'ils passent, par exemple, de l'air dans le verre ou dans l'eau, et réciproquement du verre ou de l'eau dans l'air.

Tant que les rayons sont propagés dans le même milieu, comme dans l'air, ils continuent leur chemin selon des lignes droites LA, LB, LC, LD, (*fig.* 137) tirées du point lumineux L, d'où ces rayons partent; et lorsqu'ils rencontrent quelque part, comme en C, un œil, ils y entrent, et y dépeignent une image de l'objet d'où ils sont partis. Dans ce cas, la vision est nommée simple, ou naturelle, et elle nous représente les objets tels qu'ils sont en effet. La science qui nous explique les principes de cette vision est nommée l'optique.

Fig. 137.

Mais lorsque les rayons, avant que d'entrer dans l'œil, sont réfléchis sur une surface bien polie, comme dans un miroir, la vision n'est plus naturelle, puisque dans ce cas-ci nous voyons les objets autrement et dans un autre lieu qu'ils sont effectivement. La science qui explique les fondements de cette vision qui se fait par des rayons réfléchis, est nommée la catoptrique. Elle nous fournit aussi des instruments propres à augmenter la portée de notre vue; et Votre Altesse connaît les sortes d'instruments qui, par le moyen d'un ou de deux miroirs, nous rendent le même service que les lunettes composées de verres. Ce sont ces instruments munis de miroirs qu'on nomme télescopes; mais, pour les distinguer des lunettes ordinaires qui ne sont composées que de verres, il vaudrait mieux les appeler télescopes catoptriques, réfléchissants ou de réflexion. Ce serait au moins plus exactement parler; car le nom de télescopes a été en usage encore avant la découverte des instruments à miroirs, et marquait alors la même chose que lunette.

Je me propose à présent d'entretenir Votre Altesse uniquement des instruments dioptriques, dont nous avons deux espèces, comme j'ai déjà eu l'honneur de le remarquer, savoir, les télescopes ou

lunettes, et les microscopes. On se sert pour les uns et les autres de verres formés de plusieurs différentes manières, dont je vais expliquer les diverses espèces, parmi lesquelles il y en a d'abord trois principales, selon la figure qu'on donne à la surface du verre.

La première figure est la *plane*, lorsque la surface d'un verre est plane, comme celle d'un miroir ordinaire. Si l'on prend, par exemple, un morceau de miroir, et qu'on en ôte le vif argent attaché à la surface de derrière, on aura un verre dont les deux surfaces seront planes, et qui aura partout la même épaisseur.

La seconde figure qu'on peut donner à la surface d'un verre est la *convexe :* alors le verre est plus élevé dans le milieu que vers les bords.

La troisième figure enfin est la *concave :* le verre est alors plus enfoncé dans le milieu que vers les bords.

De ces trois différentes figures qu'on peut donner à la surface d'un verre, naissent les six espèces de verres suivantes :

I. Le verre *plano-plan* est celui dont les deux surfaces sont planes.

II. Le verre *plano-convexe* a une surface plane et l'autre convexe.

III. Le verre *plano-concave* a une surface plane et l'autre concave.

IV. Le verre *convexo-convexe* est celui dont les deux surfaces sont convexes.

V. Le verre *convexo-concave* a une surface convexe et l'autre concave.

VI. le verre *concavo-concave* enfin a les deux surfaces concaves.

La *fig.* 138 représente, sous autant de numéros, les coupes de ces verres ou lentilles.

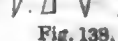


Fig. 138.

8 décembre 1761.

LETTRE LVI.

Sur la différence entre les lentilles, par rapport à la courbure de leurs faces convexes et concaves. Distribution des lentilles en trois classes.

De ce que je viens de dire sur les faces convexes et concaves des lentilles, Votre Altesse comprend aisément qu'il y en peut avoir d'une infinité de façons, puisque tant la convexité que la concavité peut être plus ou moins grande. Pour les surfaces planes, il n'y en a que d'une seule espèce, parce qu'une surface ne peut être plane que d'une seule manière ; mais une surface convexe peut être regardée comme faisant partie d'une sphère ; et selon que le rayon ou diamètre de cette sphère est plus ou moins grand, la

convexité en sera différente; ou bien, comme nous représentons les verres sur le papier par des arcs de cercles, selon que ces cercles sont plus ou moins grands, il en résulte une infinité de verres, tant par rapport à la convexité qu'à l'égard de la concavité de leurs surfaces.

Pour ce qui est de la manière dont on forme et polit les verres, on se donne tous les soins possibles pour rendre leur figure exactement circulaire ou sphérique; on se sert, pour cet effet, de bassins de métal, qui sont formés au tour sur une surface sphérique tant en dedans qu'en dehors.

Soit AEBDFC (*fig.* 139) la coupe d'un semblable bassin, qui aura deux faces AEB et CFD, dont chacune peut avoir son rayon à part : quand on frotte un morceau de verre sur la partie concave AEB de ce bassin, le verre en deviendra convexe; mais si on le frotte sur la partie convexe CFD, il en deviendra concave. On se sert en premier lieu de sable pour frotter le verre contre le bassin jusqu'à ce qu'il en ait pris la figure, et ensuite on se sert d'une terre fine pour le dernier poli.

Fig. 139.

Pour connaître la véritable figure des faces d'une lentille, on n'a qu'à mesurer le rayon de la face du bassin sur laquelle cette lentille a été formée; car la véritable mesure tant de la convexité que de la concavité des surfaces, c'est le rayon du cercle ou de la sphère qui leur convient, et dont elles font partie.

Ainsi, quand je dis que le rayon de la face convexe AEB (*fig.* 140) est de trois pouces, il faut entendre que AEB est un arc de cercle décrit avec un rayon de trois pouces, l'autre face AB étant plane.

Pour mettre encore mieux devant les yeux de Votre Altesse la différence entre les convexités, lorsque leurs rayons sont plus ou moins grands, je mettrai ici plusieurs figures de différente convexité : deux pouces, un pouce, un demi-pouce, un tiers de pouce, un cinquième de pouce, un sixième de pouce, un huitième de pouce (*fig.* 140).

L'on voit par là que plus le rayon est petit, plus la surface est courbée, ou différente de la plane; plus au contraire le rayon est grand, plus aussi la surface approche-t-elle de la plane, ou l'arc de cercle d'une ligne

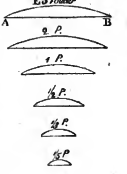


Fig. 140.

droite. Si je faisais le rayon encore plus grand, on n'y apercevrait enfin presque plus la courbure. A peine la remarque-t-on dans l'arc MN (*fig.* 141), dont le rayon est de 6 pouces ou d'un demi-pied; et si le rayon était encore dix ou cent fois plus grand, la courbure deviendrait tout à fait insensible à la vue.

M N

Fig. 141.

Cependant il n'en est pas ainsi à l'égard de la dioptrique; et j'aurai l'honneur de faire remarquer à Votre Altesse, dans la suite, que quand le rayon serait de cent ou de mille pieds, et que nous ne pourrions pas en remarquer la courbure, son effet cependant ne laisserait pas d'être encore très-sensible. Effectivement il faudrait que le rayon fût infiniment plus grand pour que la face devînt parfaitement plane : d'où Votre Altesse peut conclure qu'une face plane peut être regardée comme une face convexe dont le rayon est infiniment grand, ou bien aussi comme une face concave d'un rayon infiniment grand. C'est dans ce cas où la convexité et la concavité se confondent ensemble, de sorte que la face plane est le milieu qui sépare la convexité de la concavité.

Mais plus les rayons sont petits, plus les convexités et les concavités deviennent sensibles ou grandes; et de là on dit réciproquement qu'une convexité ou concavité est d'autant plus grande, que son rayon, qui en est la mesure, est petit.

Quelque grande que soit d'ailleurs la variété qui peut se rencontrer dans les lentilles ou verres, selon leurs deux surfaces, qui sont ou planes, ou convexes, ou concaves, et ceci encore d'une infinité de manières différentes; par rapport à l'effet qui en résulte dans la dioptrique, on les peut néanmoins ranger en trois classes principales, que voici :

La première classe comprend les verres qui sont partout également épais, soit que leurs deux faces soient planes et parallèles entre elles (*fig.* 142), soit que l'une soit convexe et l'autre concave, mais concentriques ou décrites du même centre, de sorte que l'épaisseur reste partout la même (*fig.* 143). De ces verres, il est à remarquer qu'ils ne changent rien dans l'apparition des objets que nous voyons par leur moyen. C'est comme s'il n'y avait rien entre nos yeux et les objets; et aussi, par cette raison, ces verres ne sont-ils d'aucun usage dans la dioptrique. Ce n'est pas que les rayons qui entrent dans de tels verres ne souffrent aucune réfraction, mais c'est parce que la réfraction à l'entrée est



Fig. 142.

Fig. 143.

parfaitement redressée à la sortie; de sorte que les rayons, après avoir traversé le verre, reprennent la même route qu'ils avaient tenue avant que d'y entrer. Ce sont donc les verres des deux autres classes qui, à cause de leur effet, font l'objet principal de la dioptrique.

La seconde classe de verres renferme ceux qui sont plus épais vers le milieu que vers les bords (*fig.* 144) : I. plano-convexe; II. convexo-convexe; III. convexo-concave ou ménisque.

I II III

Fig. 144.

L'effet en est le même, tant que l'excès de l'épaisseur du milieu sur celle des bords tient le même rapport à la grandeur du verre. On nomme pour l'ordinaire tous les verres de cette classe convexes, puisque la convexité y domine, quoique d'ailleurs une de leurs faces puisse être plane et même conc ave.

La troisième classe contient les verres qui sont plus épais par les bords que vers le milieu (*fig.* 145) : I. plano-concave; II. concavo-concave; III. concavo-convexe ou ménisque, qui tous produisent un semblable effet, lequel dépend de l'excès d'épaisseur vers les bords sur celle du milieu. Comme la concavité prévaut dans tous ces verres de la troisième classe, on les nomme simplement concaves. Il faut bien les distinguer de ceux de la seconde classe, qui sont les convexes.

I II III

Fig. 145.

C'est des verres de ces deux dernières classes que je me propose d'entretenir Votre Altesse dans mes lettres suivantes, en y exposant leurs effets dans la dioptrique.

12 décembre 1761.

LETTRE LVII.

De l'effet des verres convexes.

Pour expliquer à Votre Altesse l'effet que produisent les verres tant convexes que concaves dans l'apparition des objets, il faut distinguer deux cas : l'un où l'objet est très-éloigné du verre, et l'autre où il se trouve plus rapproché.

Mais, avant que d'entreprendre cette explication, je dois dire un mot sur ce qu'on nomme l'axe d'un tel verre. Comme les deux surfaces sont représentées par des arcs de cercles, on n'a qu'à tirer une ligne droite par les centres de ces deux cercles; cette ligne est nommée l'axe du verre. Dans la *fig.* 146 du verre AB, le centre de l'arc AEB étant en C, et celui de l'arc AFB en D, la ligne droite CD est nommée l'axe de ce verre; et il est aisé de voir que cet axe passe par le milieu du verre. Il en est de même si les faces des verres sont concaves. Or, si l'une est plane, l'axe y sera perpendiculaire en passant par le centre de l'autre face.

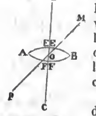


Fig. 146.

On peut voir par là que l'axe traverse perpendiculairement les deux faces; et ainsi un rayon de lumière qui vient dans la direction de l'axe n'y souffre aucune réfraction, puisque les rayons qui passent d'un milieu dans un autre ne sont rompus ou réfractés qu'en tant qu'ils n'y entrent pas perpendiculairement.

On peut aussi prouver que tous les autres rayons qui passent par le milieu O du verre ne souffrent aucune réfraction, ou plutôt qu'ils redeviennent parallèles à eux-mêmes.

Pour en comprendre la raison, on n'a qu'à considérer qu'aux points E et F les deux faces du verre sont parallèles entre elles; car l'angle MEB que fait le rayon ME avec l'arc de cercle EB, ou sa tangente en E, est ouvertement égal à l'angle PFA, que ce même rayon prolongé FP fait avec l'arc de cercle AF ou sa tangente en F. Votre Altesse se souvient que deux tels angles sont nommés *alternes*, et qu'il est démontré que, lorsque les angles alternes sont égaux, les lignes droites sont parallèles entre elles; par conséquent les deux tangentes en E et en F seront parallèles, et il en sera de même que si le rayon MEFP passait par un verre dont les deux faces seraient parallèles entre elles. Or, nous avons vu ci-dessus que les rayons, en passant par un tel verre, ne changent point de route.

Après ces remarques, considérons un verre convexe AB (*fig.* 147), dont l'axe soit la ligne droite OEFP, et supposons qu'à une très-grande distance du verre sur son axe, il se trouve un objet ou un point lumineux O, qui répande des rayons en tout sens : il y en aura qui passeront par notre verre AB, tels que OM, OE et ON, dont celui du milieu OE ne souffrira aucune réfraction, mais continuera sa route à travers du verre, suivant la direction FJP. Les deux autres rayons OM et ON, en passant vers les bords du verre, y seront rompus, tant en entrant qu'en sortant; de façon qu'ils concourront quelque part en J avec l'axe, et continueront ensuite leurs routes dans les directions JQ et JR : on peut aussi prouver que tous les autres rayons qui tombent entre M et N seront rompus; en sorte qu'ils se réunissent avec l'axe au même point J. Donc les rayons, qui sans l'interposition du verre auraient continué leurs routes rectilignes OM et ON, suivront après la réfraction d'autres routes, tout comme s'ils étaient partis du point J; et s'il y avait un œil quelque part en P, il en serait affecté de la même manière que si le point lumineux était actuellement en J, quoiqu'il n'y ait rien de réel. Votre Altesse n'a qu'à supposer pour un moment qu'il y ait en J un objet réel, lequel, répandant ses rayons, serait également vu d'un œil placé en P, comme il voit à présent l'objet en O par les rayons rompus par le verre. Par cette raison, qu'il y ait en J une image de l'objet O, et que le verre AB y représente l'objet O, ou le transporte presque en J, ce n'est plus le point O qui est l'objet de la vue, c'est plutôt son image représentée en J qui en est l'objet immédiat.

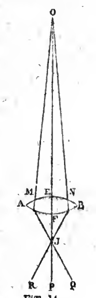


Fig. 14..

Voilà donc un changement bien considérable que ce verre produit, par lequel un objet fort éloigné O est subitement transporté en J, d'où l'œil doit sans doute recevoir une tout autre impression que si l'on ôtait le verre, et que l'œil vît immédiatement le vrai objet O. Que Votre Altesse considère en O une étoile, puisque nous supposons que le point O est extrêmement éloigné, le verre nous représentera en J une image de cette étoile; mais une telle image qu'on ne saurait toucher, et qui en effet n'a aucune réalité, puisqu'il n'y a rien de réel en J, si ce n'est que les rayons partis du point O sont rassemblés en J par la réfraction du verre. Il ne faut pas s'imaginer non plus que l'étoile nous paraîtrait de la même

manière que si l'objet ou l'étoile existait réellement en J. En effet, un corps plusieurs milliers de fois plus grand que la terre, comment pourrait-il exister en J ? Tous nos sens en seraient frappés bien autrement : il faut donc bien remarquer que ce n'est qu'une image représentée en J, à peu près semblable à l'image d'une étoile représentée dans le fond de l'œil, ou bien à celle que nous voyons dans un miroir, dont l'effet n'a rien de surprenant.

15 décembre 1761.

LETTRE LVIII.

Sur le même sujet, et de la distance de foyer des verres convexes.

Je vais exposer à Votre Altesse, dans cette lettre-ci, l'effet que produisent les verres convexes, ou ceux qui sont plus épais par le milieu que vers les bords. Il est vrai que tout revient à déterminer le changement que les rayons souffrent dans leur route, lorsqu'ils passent par un tel verre. Pour mettre cette recherche dans tout son jour, il faut bien distinguer deux cas : l'un où l'objet est fort éloigné du verre, et l'autre où il en est assez proche. Je considérerai donc d'abord le premier cas, où l'objet est extrêmement éloigné du verre.

Dans la *fig.* 148, MN est le verre convexe, et la droite OABJS son axe qui passe perpendiculairement par le milieu du verre : remarquons, en passant, que cette propriété que l'axe de chaque verre passe perpendiculairement par son milieu, nous en donne la plus juste idée qu'on puisse s'en former. Concevons maintenant que sur cet axe il se trouve quelque part en O un objet OP, que je représente ici comme une ligne droite, quelque figure qu'il puisse d'ailleurs avoir; et, comme chaque point de cet objet lance ses rayons en tout sens, il ne s'agit ici que de ceux qui tombent sur le verre.

Premièrement, je bornerai mes réflexions sur ceux qui proviennent du point O, situé dans l'axe même du verre. La figure nous représente trois de ces rayons, OA, OM et ON, dont le premier, OA, passant par le milieu du verre, ne souffre aucun changement dans sa route, qu'il continue après avoir traversé le verre selon la première direction BJS, c'est-à-dire dans l'axe du verre; mais les deux autres rayons OM et ON souffrent une ré-

O P
A
N M
B
K J
Q S P
Fig. 148.

fraction, tant en entrant qu'en sortant du verre, par laquelle ils sont détournés de leur première route; de façon qu'ils se réuniront quelque part en J avec l'axe, d'où ils continueront leurs nouvelles routes dans les lignes droites MJQ et NJR; de sorte que dans la suite, lorsqu'ils rencontreront un œil, ils y produiront le même effet, comme si le point O existait actuellement en J, puisqu'ils tiennent la même route. Par cette raison, on dit que le verre convexe transporte l'objet de O en J; mais, pour distinguer ce point J du vrai point O, on nomme celui-là l'image de celui-ci, qui à son tour est nommé l'objet.

Ce point J est très-remarquable; et lorsque l'objet O est extrêmement éloigné, l'image en est aussi nommée le foyer du verre; j'en expliquerai la raison à Votre Altesse. Si c'est le soleil qui tient lieu d'objet en O, les rayons qui tombent sur le verre en sont tous réunis dans le lieu J; et, comme ils sont extrêmement forts et doués de la qualité d'échauffer, il est naturel que la réunion de tant de rayons qui se fait en J doit y produire un très-haut degré de chaleur, capable de brûler les choses combustibles qu'on met en J. Or, un tel lieu, où tant de chaleur est réunie, se nomme un *foyer;* la raison de cette dénomination à l'égard des verres convexes est évidente. C'est pourquoi un tel verre convexe est aussi nommé un verre ardent, dont les effets sont sans doute bien connus à Votre Altesse : je remarque seulement que cette propriété de réunir les rayons du soleil dans un certain point qu'on nomme leur foyer, convient à tous les verres convexes; ils réunissent aussi les rayons de la lune, des étoiles, et de tous les corps fort éloignés, dans le même lieu; et quoique leur force soit trop petite pour produire quelque chaleur, on se sert pourtant du même nom de foyer; et ainsi le foyer d'un verre n'est autre chose que le lieu où l'image des objets fort éloignés est représentée : à quoi il faut encore ajouter cette condition, que l'objet soit situé dans l'axe même du verre; car s'il était hors de l'axe, son image serait aussi représentée hors de l'axe. J'aurai occasion d'en parler dans la suite.

Au reste, il est bon d'ajouter encore les remarques suivantes sur le foyer :

1. Comme le point O ou l'objet est infiniment éloigné, les rayons OM, OA et ON, peuvent être considérés comme parallèles entre eux, et par la même raison parallèles à l'axe du verre.

2. Le foyer J est donc le point, derrière le verre, où les rayons parallèles à l'axe, qui tombent sur le verre, sont réunis par la réfraction du verre.

3. Le foyer d'un verre, et le lieu où l'image d'un objet infiniment éloigné et situé dans l'axe du verre est représentée, sont la même chose.

4. L'éloignement du point J derrière le verre, ou bien la distance BJ, est nommé la distance du foyer du verre. Quelques auteurs la nomment aussi la *distance focale*.

5. Chaque verre convexe a sa distance de foyer particulière, l'une plus grande et l'autre plus petite; ce qu'on trouve aisément en exposant le verre au soleil, et observant où les rayons se réunissent.

6. Les verres qui sont formés par des arcs de petits cercles ont leur foyer fort près derrière eux; mais ceux dont les faces sont des arcs de grands cercles ont leurs foyers plus éloignés.

7. Il est important de savoir la distance du foyer de chaque verre convexe dont on se sert dans la dioptrique; et il suffit d'en connaître le foyer, pour juger de tous les effets qu'on en doit attendre, tant dans les lunettes ou télescopes que dans les microscopes.

8. Si l'on se sert de verres également convexes des deux côtés, de sorte que chaque face réponde au même cercle, alors le rayon de ce cercle donne à peu près la distance du foyer de ce verre : ainsi, pour faire un verre ardent qui brûle à la distance d'un pied, on n'a qu'à former ses deux faces suivant un cercle dont le rayon soit d'un pied.

9. Mais lorsque le verre est plano-convexe, sa distance de foyer est à peu près égale au diamètre du cercle qui convient à la face convexe.

L'intelligence de ces termes rendra ce que nous avons encore à dire facile à entendre.

19 décembre 1761.

LETTRE LIX.

Sur la distance de l'image des objets.

Ayant remarqué qu'un objet éloigné à l'infini est représenté par un verre convexe dans son foyer même, pourvu que cet objet se trouve dans l'axe du verre, je passe aux objets plus proches, mais toujours situés dans l'axe du verre, et j'observe d'abord que plus l'objet s'approche du verre, plus l'image s'en éloigne.

Ainsi supposons que F (*fig.* 149) soit le foyer du verre MM, de sorte que d'un objet éloigné à l'infini devant le verre, ou au haut de la figure, l'image soit représentée en F; alors, en approchant l'objet du verre, et le plaçant successivement en P, Q, R, l'image sera représentée au point *p*, *q*, *r*, plus éloignés du verre que le foyer; ou bien, si AP est la distance de l'objet, B*p* sera la distance de l'image; et si AQ est la distance de l'objet, B*q* sera celle de l'image, et la distance B*r* de l'image répondra à la distance de l'objet AR.

On a une règle par laquelle on peut aisément calculer la distance de l'image derrière le verre, pour chaque distance de l'objet qui est devant le verre : mais je ne veux pas ennuyer Votre Altesse par une exposition sèche de cette règle; il suffira de remarquer en général que plus on diminue la distance de l'objet devant le verre, plus la distance de l'image derrière le verre devient grande. J'ajouterai, outre cela, l'exemple d'un verre convexe dont la distance du foyer est de 6 pouces, ou d'un verre tel, que si la distance de l'objet est infiniment grande, la distance de l'image derrière le verre soit précisément de 6 pouces : maintenant, si l'on approche l'objet du verre, l'image s'en éloignera suivant cette table :

Fig. 149.

Distance	de l'objet. . . .	infini,	42,	24,	18,	15,	12,	10,	9,	8,	7,	6.
	de l'image . . .	6,	7,	8,	9,	10,	12,	15,	18,	24,	42,	infini.

Ainsi l'objet étant éloigné de 42 pouces du verre, l'image tombera à la distance de 7 pouces, et ainsi d'un pouce plus loin que le foyer. Or, si l'objet se trouve à la distance de 24 pouces, l'image se trouvera à la distance de 8 pouces, et par conséquent de deux pouces au delà du foyer, et ainsi de suite.

Quoique ces nombres ne conviennent qu'à un verre dont la distance du foyer est de 6 pouces, on en peut pourtant tirer quelques conséquences générales.

1. Si la distance de l'objet est infiniment grande, l'image tombe dans le foyer même.

2 Si la distance de l'objet est deux fois plus grande que la distance du foyer, la distance de l'image sera aussi deux fois plus grande que la distance du foyer, ou bien l'objet et l'image seront

également éloignés du verre. Dans l'exemple rapporté ci-dessus, la distance de l'objet étant de 12 pouces, celle de l'image est aussi de 12 pouces.

3. Lorsqu'on approche l'objet du verre, de façon que la distance soit précisément égale à la distance du foyer (comme de 6 pouces dans l'exemple ci-dessus), alors l'image s'éloigne à l'infini derrière le verre.

4. Aussi voit-on, en général, que la distance de l'objet et celle de l'image se répondent réciproquement; ou si l'on met l'objet à la place de l'image, l'image tombera dans le lieu de l'objet.

Donc, si le verre MM (*fig.* 150) rassemble en J les rayons qui émanent du point O, alors ce même verre rassemblera aussi réciproquement en O les rayons qui émanent du point J.

O
A
M M
B
J

Fig. 150.

6. C'est une suite d'un grand principe de la dioptrique, en vertu duquel on soutient que, quelles que soient les réfractions que les rayons aient souffertes en passant par plusieurs milieux réfringents, ils pourraient toujours retourner sur la même route.

Cette vérité est très-importante dans la connaissance des verres. Ainsi quand je sais, par exemple, qu'un verre représente, à la distance de 8 pouces, l'image d'un objet éloigné de 24 pouces, j'en puis hardiment conclure que si l'objet était éloigné de 8 pouces, le même verre en représenterait l'image à la distance de 24 pouces.

Il est aussi essentiel de remarquer que lorsque la distance de l'objet est égale à la distance du foyer, l'image s'éloignera subitement à l'infini; mais cela est parfaitement bien d'accord avec le rapport qui se trouve entre l'objet et l'image.

Mais Votre Altesse sera sans doute curieuse d'apprendre en quel lieu l'image sera représentée, lorsqu'on approche davantage l'objet du verre, de sorte que sa distance devienne plus petite que la distance du foyer. Cette question est d'autant plus embarrassante, qu'il faudrait répondre que la distance de l'image devrait alors être plus grande que l'infini; attendu que plus l'objet s'approche du verre, plus l'image s'en éloigne. Mais l'image étant déjà éloignée à l'infini, comment est-il possible que sa distance devienne encore plus grande? Cette question pourrait sans doute embarrasser les philosophes; mais, dans les mathématiques, il est fort aisé

d'y répondre. L'image passera d'une distance infinie à l'autre côté du verre, et par conséquent du même côté où se trouve l'objet; elle paraîtra donc au delà de l'objet. Quelque bizarre que paraisse cette réponse, elle est non-seulement confirmée par le raisonnement, mais aussi par l'expérience; de sorte qu'on ne saurait douter de sa justesse. Croître au delà de l'infini, est la même chose que passer de l'autre côté; ce qui est sans doute véritablement un paradoxe.

22 décembre 1761.

LETTRE LX.

Sur la grandeur de ces images.

Votre Altesse ne doutera pas actuellement que chaque verre convexe ne représente quelque part une image des objets qui lui sont opposés, et que, dans chaque cas, le lieu de l'image varie autant selon l'éloignement de l'objet que selon la distance du foyer du verre; mais il me reste à expliquer encore un article bien important, qui regarde la grandeur de l'image.

Lorsqu'un tel verre nous représente l'image du soleil ou de la lune, ou d'une étoile à la distance d'un pied, Votre Altesse s'imagine aisément que ces images doivent être incomparablement plus petites que les objets mêmes. Une étoile étant beaucoup plus grande que toute la terre, comment serait-il possible qu'une image aussi grande nous fût représentée à la distance d'un pied? Mais comme l'étoile ne nous paraît que comme un point, l'image qui en est représentée par un verre ressemble aussi à un point, et est par conséquent infiniment plus petite que l'objet même.

Donc, dans chaque représentation faite par les verres, il y a deux choses à considérer : l'une regarde le lieu où l'image est représentée, et l'autre la véritable grandeur de l'image, qui peut être très-différente de celle de l'objet. La première étant déjà suffisamment éclaircie, je m'en vais exposer à Votre Altesse une règle très-simple, par laquelle elle jugera aisément dans chaque cas de quelle grandeur doit être l'image représentée par un verre.

Soit OP (*fig.* 151) un objet quelconque situé sur l'axe du verre

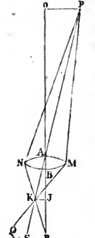


Fig. 151.

convexe MN : d'abord il faut chercher le lieu de l'image, qui soit en J, de sorte que le point J est l'image du bout O de l'objet, puisque les rayons émanés du point O y seront réunis par la réfraction du verre. Voyons maintenant en quel lieu sera représentée l'image de l'autre point P de l'objet; pour cet effet, considérons les rayons PM, PA, PN, qui, partant du point P, tombent sur le verre : j'observe alors que le rayon PA, qui passe par le milieu du verre, ne change point de direction, mais qu'il continue sa route AKS. Ce sera donc quelque part sur cette ligne en K, où les autres rayons PM et PN se réunissent; ou bien le point K sera l'image de l'autre bout P de l'objet, le point J étant celle du point O : d'où il est aisé de conclure que JK sera l'image de l'objet OP, qui est représentée par le verre.

Donc, pour déterminer la grandeur de cette image, ayant déjà trouvé le lieu J, on n'a qu'à tirer du bout P de l'objet, par le milieu du verre A, la ligne droite TAKS, et poser en J, perpendiculairement à l'axe, la ligne JK, et celle-ci sera l'image en question : par là il est évident que cette image est renversée, de sorte que si la ligne OR était horizontale, et l'objet OP un homme, l'image aurait la tête K en bas, et les pieds en haut en J.

Outre cela, j'ajouterai là-dessus les remarques suivantes.

1. Plus l'image est proche du verre, plus elle est petite; et plus elle est éloignée du verre, plus elle est grande. Ainsi, OP (*fig.* 152) étant l'objet placé sur l'axe devant le verre MN; si l'image tombait en Q, elle serait plus petite que si elle tombait en R ou S ou T. Car, puisque la ligne droite PA*t*, tirée du sommet de l'objet P par le milieu du verre, termine toujours l'image, à quelque distance qu'elle se trouve du verre, il est évident que parmi les lignes Q*q*, R*r*, S*s*, T*t*, la première Q*q* est la plus petite, et que les autres croissent à mesure qu'elles s'éloignent du verre.

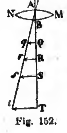


Fig. 152.

2. Il y a un cas où l'image est précisément égale à l'objet : ce cas a lieu lorsque la distance de l'image est égale à celle de l'objet, ce qui arrive, comme j'ai déjà remarqué, quand la distance de l'objet AO est deux fois plus grande que la distance du foyer du verre; alors l'image sera T*t*, en sorte que la di-

stance BT est égale à AO. Maintenant Votre Altesse n'a qu'à considérer les deux triangles OAP et TAt, qui, ayant tant les angles opposés par la pointe en A, que les côtés AO et AT égaux entre eux, outre cela les angles en O et T qui sont droits, ces deux triangles sont égaux entre eux, et ainsi le côté Tt, qui est l'image, est égal au côté OP, qui est l'objet.

3. Si l'image était deux fois plus éloignée du verre que l'objet, elle serait deux fois plus grande que l'objet; et en général autant de fois que l'image est éloignée du verre que l'objet, autant de fois elle sera plus grande que l'objet. Or, plus on approche l'objet du verre, plus l'image s'en éloigne, et devient par conséquent d'autant plus grande.

4. Le contraire arrive lorsque l'image est plus proche du verre que n'en est l'objet; alors elle est d'autant de fois plus petite que l'objet, qu'elle est plus proche du verre que ne l'est l'objet. Donc, si la distance de l'image était 1000 fois plus petite que la distance de l'objet, elle serait aussi mille fois plus petite que l'objet.

5. Appliquons cela aux verres ardents, qui, étant exposés au soleil, représentent dans le foyer l'image du soleil, ou plutôt le foyer, c'est-à-dire, ce cercle lumineux et brillant qui brûle, et qui n'est autre chose que l'image du soleil représentée par le verre. Donc Votre Altesse ne sera plus surprise de la petitesse de cette image, quoique le soleil soit si excessivement grand, puisque cette image dans le foyer est autant de fois plus petite que le véritable soleil, que la distance du soleil est plus grande que celle de l'image au verre.

6. De là il est aussi clair que plus la distance du foyer d'un verre ardent est grande, plus aussi le cercle est brillant dans le foyer; c'est-à-dire, l'image du soleil sera grande : et toujours le diamètre du foyer est environ 100 fois plus petit que la distance du foyer au verre.

Dans la suite, j'aurai l'honneur de parler des différents usages qu'on fait des verres convexes, qui sont tous si curieux, qu'ils méritent bien l'attention de Votre Altesse.

26 décembre 1761.

LETTRE LXI.

Sur les verres ardents.

Le premier usage des verres convexes est celui des verres ardents dont l'effet doit paraître tout à fait surprenant à ceux mêmes qui

ont déjà quelque teinture de la physique. En effet, qui croirait qu'une simple image du soleil soit capable d'exciter un si prodigieux degré de chaleur? Mais Votre Altesse n'en sera plus surprise, quand elle voudra bien daigner faire quelque attention aux réflexions suivantes.

1. Soit MN (*fig.* 153) un verre ardent qui reçoit sur sa surface les rayons du soleil R, R, R, lesquels sont rompus de façon qu'ils présentent en F un petit cercle lumineux qui est l'image du soleil, et qui est d'autant plus petit qu'il est proche du verre.

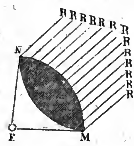


Fig. 153.

2. Tous les rayons du soleil qui tombent sur la surface du verre sont réunis dans le petit espace du foyer F, et ainsi leur effet y doit être autant de fois plus grand que la surface du verre surpasse la grandeur du foyer ou l'image du soleil. On dit que les rayons qui étaient dispersés par toute la surface du verre sont concentrés dans le petit espace F.

3. Or, les rayons du soleil ont un certain degré de chaleur; il faut donc qu'ils exercent ce pouvoir dans le foyer à un degré fort sensible : on peut même estimer combien de fois ce degré doit surpasser la chaleur naturelle des rayons du soleil; on n'a qu'à voir combien de fois la surface du verre est plus grande que le foyer.

4. Si le verre n'était pas plus grand que le foyer, la chaleur ne surpasserait point la naturelle; d'où il faut conclure que, pour qu'un verre ardent produise un grand effet, il ne suffit pas qu'il soit convexe ou qu'il représente une image du soleil, il faut, en outre, qu'il ait une grande surface qui surpasse plusieurs fois la grandeur du foyer, qui est d'autant plus petit qu'il est proche du verre.

5. Le plus excellent verre ardent se trouve en France; sa largeur est de 3 pieds, et on estime que sa surface est presque 2,000 fois plus grande que le foyer ou l'image du soleil qu'il représente. Il faut donc qu'il produise dans le foyer une chaleur 2,000 fois plus grande que celle que nous éprouvons étant exposés au soleil. Auss les effets de ce verre sont prodigieux : au premier instant tout bois est enflammé, les métaux sont fondus en peu de minutes; et, en général, le feu le plus ardent qu'on puisse produire n'est pas à comparer avec la véhémence du foyer de ce verre.

6. On estime que la chaleur de l'eau bouillante est environ trois fois plus grande que celle que nous éprouvons des rayons du

soleil pendant l'été, ou, ce qui revient au même, la chaleur de l'eau bouillante est trois fois plus grande que la chaleur naturelle du sang dans le corps humain. Mais pour fondre du plomb il faut une chaleur trois fois plus grande que celle qu'il faut pour faire bouillir de l'eau ; et pour fondre du cuivre, il faut une chaleur encore trois fois plus grande. L'or exige encore un plus haut degré de chaleur ; il s'ensuit de là qu'une chaleur cent fois plus grande que celle de notre sang est déjà capable de fondre l'or : combien de fois donc une chaleur deux mille fois plus grande ne doit-elle pas surpasser la force de nos feux ordinaires!

7. Mais comment arrive-t-il que les rayons du soleil, réunis dans le foyer d'un verre ardent, y produisent ces effets prodigieux? C'est une question bien difficile, sur laquelle les philosophes sont fort partagés. Ceux qui soutiennent que les rayons sont une émanation actuelle du soleil, lancée avec cette grande vitesse dont j'ai l'honneur de parler à Votre Altesse, ne sont pas en peine là-dessus : ils n'ont qu'à dire que la matière des rayons, frappant les corps avec violence, doit briser et détruire tout à fait les moindres particules de ces corps. Mais ce sentiment ne doit plus avoir lieu dans la saine physique.

8. L'autre sentiment, qui met la nature de la lumière dans un ébranlement de l'éther, semble peu propre à expliquer ces effets surprenants des verres ardents. Cependant, si on pèse bien toutes les circonstances, on sera bientôt convaincu de la possibilité. Quand les rayons naturels du soleil tombent sur un corps, ils y excitent les moindres particules de sa surface à un ébranlement, ou mouvement de vibration, qui est à son tour capable d'exciter de nouveaux rayons qui nous rendent visible ce même corps. Et un corps n'est illuminé et éclairé qu'autant que ses propres particules son mises dans un mouvement de vibration si rapide, qu'il est capable de produire dans l'éther de nouveaux rayons.

9. Maintenant, il est clair que si les rayons naturels du soleil ont assez de force pour ébranler les moindres particules des corps, les rayons rassemblés dans le foyer doivent mettre les particules des corps qu'ils y rencontrent dans une si violente agitation, que leur liaison mutuelle est tout à fait rompue, et le corps même entièrement détruit; ce qui est l'effet du feu. Car, si le corps est combustible comme le bois, la dissolution de ses moindres particules, jointe à la plus rapide agitation, en chasse une bonne partie dans l'air en forme de fumée, et les parties plus grossières restent sous la forme de cendres. Les corps fusibles, comme sont les métaux, deviennent liquides par la dissolution de leurs particules, et

c'est de là qu'on peut comprendre comment le feu agit sur les corps : ce n'est que la liaison entre leurs plus petites particules qui en est attaquée, et les particules mêmes ensuite y sont mises dans la plus grande agitation. Voilà donc un effet bien plus frappant que celui des verres ardents, qui tire son origine de la nature des verres convexes : j'aurai l'honneur d'en rapporter encore d'autres merveilles à Votre Altesse.

28 décembre 1761.

LETTRE LXII.

Sur les chambres obscures.

Après avoir présenté à Votre Altesse les vœux ardents que je fais au renouvellement de cette année pour sa conservation, je continue le fil de mon discours.

On fait encore usage des verres convexes dans les chambres obscures, où, par le moyen d'un tel verre, tous les objets de dehors sont représentés dans la chambre sur une surface blanche, avec leurs couleurs naturelles; de manière que toute la contrée y est représentée dans une plus grande perfection que ne le pourrait faire un peintre. Aussi les peintres se servent-ils de ce moyen pour dessiner avec exactitude les paysages et autres objets qu'on voit dans l'éloignement. C'est sur ces chambres obscures que je me propose d'entretenir Votre Altesse.

Cette figure EFGH (*fig.* 154) représente la coupe d'une chambre obscure, bien fermée de toutes parts, à l'exception d'un trou rond MN fait dans un volet, où l'on fixe un verre convexe d'un foyer tel, que l'image des objets de dehors, comme par exemple de l'arbre OP, tombe exactement sur la muraille opposée FG en *op*. On se sert aussi d'une table blanche et mobile qu'on met dans le lieu des images représentées.

Fig. 154.

Ce n'est donc qu'à travers de ce trou MN, où est placé le verre, que les rayons de lumière peuvent entrer dans la chambre, sans lequel il y régnerait une obscurité parfaite.

Considérons maintenant le point P de quelque objet, la tige, par

exemple, de notre arbre OP. Ses rayons PM, PA, PN tomberont donc sur le verre MN et en seront réfractés; en sorte qu'ils se réunissent de nouveau au point p sur la muraille, ou sur une table blanche mise expressément dans cet endroit. Ce point p ne recevra par conséquent d'autres rayons que ceux qui viennent du point P; de même, tout autre point de la table ne recevra que les rayons qui sont partis du point de l'objet qui y répond; et réciproquement à chaque point de l'objet du dehors répondra un point sur la table qui en reçoit uniquement les rayons. Si l'on ôtait le verre du trou MN, la table serait tout autrement éclairée, puisque alors chaque point de l'objet répandrait ses rayons par toute la table; de sorte que chaque point de la table serait éclairé à la fois par tous les objets du dehors, au lieu qu'actuellement il n'est éclairé que par un seul point de l'objet dont il reçoit les rayons : d'où Votre Altesse comprendra aisément que l'effet en doit être tout à fait différent, que si les rayons entraient simplement par le trou MN dans la chambre.

Voyons de plus près en quoi consiste cette différence, et supposons d'abord que le point P de l'objet soit vert : le point p de la table ne recevra donc que ces rayons verts de l'objet P, et qui en se réunissant feront une certaine impression qu'il s'agira d'examiner ici. Pour cet effet Votre Altesse voudra bien se ressouvenir des propositions suivantes, que j'ai eu l'honneur de lui expliquer autrefois :

1. Les diverses couleurs diffèrent entre elles de la même manière que les différents tons de la musique : chaque couleur est produite par un certain nombre déterminé de vibrations qui, dans un temps donné, sont excitées dans l'éther. Ainsi la couleur verte de notre point P est appropriée à un certain nombre de vibrations; et elle ne serait plus verte, si ces vibrations étaient plus ou moins rapides. Quoique nous ne connaissions pas le nombre de vibrations qui produisent telle ou telle couleur, il nous sera toujours permis de supposer ici que la couleur verte exige 12,000 vibrations par seconde; et ce que nous dirons de ce nombre de 12,000 s'entendra aussi aisément du nombre véritable, quel qu'il soit.

2. Cela posé, le point p sur la table blanche sera frappé par un mouvement de vibration, dont 12,000 s'achèvent dans une seconde. Or, j'ai remarqué que les particules d'une surface blanche sont toutes de nature à recevoir toutes sortes d'ébranlements plus ou moins rapides; au lieu que les particules d'une surface colorée ne sont propres qu'à recevoir ce même degré de rapidité qui convient à leur couleur. Donc, puisque notre table est blanche, le point

p y sera excité à un mouvement de vibration convenable à la couleur verte, ou bien il sera agité 12,000 fois par seconde.

3. Ensuite, tant que le point *p*, ou la particule de la surface blanche qui se trouve en *p* est agitée d'un semblable mouvement, elle communiquera le même mouvement aux particules de l'éther qui l'environnent; et ce mouvement, se répandant en tout sens, engendrera des rayons de la même nature, c'est-à-dire des rayons verts; de même que, dans les sons, le seul bruit d'un certain ton C, par exemple, ébranle une corde tendue au même ton, et lui fait rendre du son, sans qu'elle soit touchée.

4. Le point *p* de la table blanche produira donc des rayons verts, de même que s'il était teint de cette couleur; et ce que j'ai fait voir ici du point *p* aura pareillement lieu pour tous les autres points de la table éclairée, qui tous produiront des rayons, et chacun de la même couleur qu'est celle de l'objet dont il représente l'image. Chaque point de la table deviendra donc visible sous une certaine couleur, de la même manière que s'il en était actuellement teint.

5. On apercevra donc sur la table toutes les couleurs des objets de dehors, dont les rayons entreront dans la chambre par le verre : chaque point en particulier paraîtra de la même couleur dont est l'objet qui lui répond, et ainsi on verra sur la table un amas de plusieurs couleurs, disposées dans le même ordre qu'on les voit sur les objets mêmes, c'est-à-dire une peinture, ou plutôt un parfait tableau qui représente au naturel tous les objets qui se trouvent hors de la chambre obscure devant le verre MN.

6. Tous ces objets paraîtront cependant renversés sur la table, comme Votre Altesse le jugera aisément par ce que j'ai dit dans mes lettres précédentes. Le pied de l'arbre Q sera représenté en *o*, et la tige P en *p* : car en général chaque objet doit sur la table blanche être représenté dans l'endroit où parvient la ligne droite tirée de l'objet P par le milieu du verre A; ce qui est en haut sera par conséquent représenté en bas, et ce qui est à gauche sera à la droite; en un mot, tout sera renversé sur le tableau. Nonobstant cela, la représentation sera plus exacte et plus parfaite que ne la pourrait rendre le plus habile peintre.

7. Votre Altesse remarquera au reste que cette peinture sera autant de fois plus petite que les objets mêmes, que le foyer du verre sera plus court. Ainsi les verres d'un foyer court rendront les objets en petit; et si l'on souhaite que les objets soient rendus en grand, il faut employer des verres d'un plus long foyer, ou qui représentent les images à une plus grande distance.

8. Pour contempler plus à son aise ces représentations, on in-

tercepte les rayons par un miroir d'où ils sont *réfractés* [1], en sorte qu'ils représentent toute la peinture sur une table horizontale; ce qui est surtout d'une grande commodité, lorsqu'on veut copier ce qu'on y voit représenté.

2 janvier 1762.

LETTRE LXIII.

Réflexions sur la représentation faite dans les chambres obscures.

Quoique Votre Altesse n'ait plus aucun doute sur les représentations qui se font dans une chambre obscure par le moyen d'un verre convexe, j'espère que les réflexions suivantes ne seront point superflues, servant à mettre cette matière dans un plus grand jour.

1. Il faut premièrement que la chambre soit parfaitement obscure; car si elle était éclairée, la table blanche serait visible d'elle-même, et les particules de sa surface étant déjà ébranlées ne pourraient plus recevoir l'impression des rayons qui se réuniraient pour former les images des objets qui sont hors de la chambre. Cependant, pourvu que la chambre soit peu éclairée, on apercevra toujours sur la table quelque chose de la représentation, quoiqu'elle ne soit pas si vive que si la chambre était entièrement obscure.

2. En second lieu, il faut bien distinguer la peinture exprimée sur la table blanche, de l'image que le verre représente par sa propre nature, comme je l'ai exposé ci-dessus. Il est bien vrai que, plaçant la table dans le lieu même où l'image des objets est formée par le verre, cette image se confondra avec la peinture qu'on aperçoit sur la table; mais toutefois ces deux choses sont d'une nature tout à fait différente : l'image n'est qu'un spectre ou une ombre voltigeant dans l'air, qui n'est visible qu'en certains endroits, tandis que la représentation est un vrai tableau que tous ceux qui sont dans la chambre peuvent voir, et auquel il ne manque que la durée.

3. Pour mieux éclaircir cette différence, on n'a qu'à bien considérer la nature de l'image *o*, qui est représentée dans la *fig.* 155, par le verre convexe MN, l'objet étant en O. Cette image n'est autre chose que le lieu où les rayons OM, OC, ON de l'objet, après avoir traversé le verre, se réunissent par la réfraction, et continuent ensuite

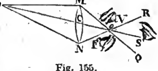


Fig. 155.

1. Lisez *réfléchis*. Cette faute se trouve dans les anciennes éditions.

leur route de la même manière que s'ils venaient du point *o*, quoiqu'ils prennent naissance en O, et point du tout en *o*.

4. Cette circonstance fait que l'image *o* n'est visible qu'aux yeux qui se trouvent quelque part entre l'angle R*o*Q, comme en S, où un œil recevra effectivement des rayons qui lui viennent du point *o*. Mais un œil placé hors de cet angle, comme en F ou en V, n'en verra rien du tout, puisque aucun des rayons réunis en *o* n'y est dirigé : ainsi l'image en *o* diffère bien essentiellement d'un objet réel; elle n'est visible qu'en certains endroits, et ressemble en cela à ce qu'on nous raconte des spectres.

5. Mais si l'on place en *o* une table blanche, et que sa surface en ce point *o* soit réellement excitée à un ébranlement semblable à celui qui règne même dans l'objet O, alors cet endroit *o* de la surface engendre lui-même des rayons qui le rendent visible partout. Voilà donc la différence entre l'image d'un objet et sa représentation, faite dans une chambre obscure : l'image n'est visible qu'en certains endroits; savoir, dans les endroits par où passent les rayons qui viennent originairement de l'objet; au lieu que la peinture ou la représentation formée sur la table blanche est vue par ses propres rayons, excités par le trémoussement des particules de sa surface, et est par conséquent vue partout dans la chambre obscure.

6. On voit aussi qu'il est absolument nécessaire de mettre la table blanche exactement dans le lieu de l'image formée par le verre, afin que chaque point de la table ne reçoive d'autres rayons que ceux qui viennent d'un seul point de l'objet : car si d'autres rayons y tombaient aussi, ils troubleraient l'effet de ceux-là, ou rendraient au moins la représentation confuse.

7. Si l'on ôtait le verre tout à fait, et que les rayons trouvassent une entrée libre dans la chambre obscure, la table blanche en serait éclairée à l'ordinaire, sans qu'on y vît la moindre peinture : sur chaque point de la table tomberaient les rayons des différents objets, et ils n'y exprimeraient aucune image déterminée. Ainsi la peinture qu'on voit dans une chambre obscure sur une surface blanche est l'effet du verre convexe fixé au volet; c'est lui qui réunit de nouveau, dans un seul point, tous les rayons qui viennent d'un point de l'objet.

8. Cependant on observe ici un phénomène bien singulier, lorsque le trou fait au volet de la chambre obscure est très-petit : quoiqu'alors il n'y ait point de verre on aperçoit cependant sur la muraille opposée les images des objets qui sont dehors, et même avec leurs couleurs naturelles : mais cette représentation est très-faible

et confuse; et dès qu'on élargit le trou davantage, tout ce spectacle disparaît entièrement. Je me vois obligé d'expliquer la cause de ce phénomène.

Dans la *fig.* 156, MN est la petite ouverture par laquelle les rayons des objets de dehors entrent dans la chambre obscure EFGH. La muraille FG vis-à-vis du trou est blanche, pour mieux recevoir l'impression de toutes sortes de rayons.

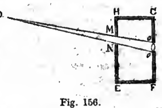


Fig. 156.

Que le point O marque un objet dont il n'y a que les rayons OM, ON, avec ceux qui se trouvent entre eux, qui peuvent entrer dans la chambre : ces rayons tomberont sur le petit espace *oo* de la muraille, et l'éclaireront; cet espace *oo* sera d'autant plus petit, ou approchera d'autant plus d'un point, que le trou MN sera petit; si donc ce trou était très-petit, nous aurions l'effet précédent où chaque point de la table blanche ne reçoit que les rayons d'un seul point de l'objet; il s'y ferait par conséquent une représentation semblable à celle que produit le verre convexe placé dans le trou du volet. Mais, dans le cas présent, le trou ayant une certaine étendue, quelque petit qu'il soit, chaque point O de l'objet éclairera un certain petit espace *oo* sur la muraille, et l'ébranlera par ses rayons. Il arrivera donc à peu près la même chose que si un peintre, au lieu de faire des points sur le tableau, y faisait, avec un gros pinceau, des taches d'une certaine grandeur, en y observant toutefois le dessin et le coloris; ce sera à un tel barbouillage que ressemblera notre représentation faite sur la muraille : cependant elle sera d'autant plus nette, que le trou par lequel les rayons entreront sera petit.

5 janvier 1762.

LETTRE LXIV.

Sur les lanternes magiques et les microscopes solaires.

La chambre obscure n'a proprement d'effet que sur des objets fort éloignés, mais Votre Altesse comprendra aisément que son usage s'étend également à des objets plus voisins; alors il faut éloigner davantage la table blanche du verre, et cela conformément à cette règle générale, que plus on approche l'objet du verre

convexe, plus l'image où la table blanche doit être placée s'en éloigne : or, en cas que la chambre n'ait pas assez de profondeur, on n'a qu'à employer un autre verre dont le foyer soit plus court.

On pourrait donc placer hors de la chambre, devant le trou où est le verre convexe, un objet quelconque ou bien un tableau, et alors on en verrait une copie dans la chambre obscure exprimée sur la table blanche, ou plus grande que l'original, ou plus petite, selon que la distance de l'image serait plus grande ou plus petite. Mais il serait sans doute plus commode que cet objet pût être exposé dans la chambre obscure même, afin que l'on puisse le manier et changer selon qu'on le jugerait à propos; or, il se présente ici une grande difficulté qu'il faut résoudre : c'est que de cette façon l'objet deviendrait obscur lui-même, et par conséquent incapable de produire l'effet que nous souhaiterions.

Il s'agit donc de trouver moyen d'éclairer l'objet le plus qu'on pourra dans la chambre obscure même, sans que la lumière puisse pénétrer dans la chambre. J'ai trouvé un moyen, et Votre Altesse se souviendra que je l'ai exécuté dans une machine de cette nature que j'ai eu l'honneur de lui présenter il y a six ans; et maintenant Votre Altesse en comprendra aisément la construction, et les principes sur lesquels elle est fondée.

Cette machine consiste dans une caisse bien fermée de tous côtés, à peu près semblable à la *fig.* 157, où le côté de derrière EG a une ouverture JK, pour y chasser les objets, portraits, ou les autres peintures OP qu'on veut représenter; de l'autre côté vis-à-vis est un tuyau MNQR, contenant un verre convexe MN; ce tuyau est mobile, pour pouvoir approcher le verre de l'objet ou l'en éloigner, comme on voudra. Alors, pourvu que l'objet OP soit bien éclairé, le verre en jettera quelque part l'image *op*; et si l'on y place une table blanche, on y verra représentée une parfaite copie de l'objet, d'autant plus claire que l'objet lui-même sera plus éclairé.

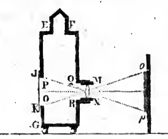


Fig. 157.

Pour cet effet, j'ai pratiqué dans cette caisse deux ailes à côté, pour y placer quelques lampes à grosses mèches, et outre cela j'ai mis dans chaque aile un miroir qui réfléchit la lumière des lampes sur les objets OP; enfin en haut EF est une cheminée par où sort la fumée des lampes. Telle est la construction de cette machine,

au dedans de laquelle l'objet OP peut recevoir une très-forte illumination sans que l'obscurité de la chambre en soit diminuée. Pour l'usage de cette machine, il faut remarquer les articles suivants :

I. Si l'on enfonce le tuyau MNQR, ou si l'on approche le verre MN de l'objet OP, alors l'image *op* s'éloignera, et ainsi il faut reculer la table blanche pour y recevoir l'image; dans ce cas, l'image deviendra aussi plus grande, et de cette manière on peut même grossir l'image autant qu'on veut, en approchant davantage le verre MN de l'objet OP.

II. Quand on éloigne le verre de l'objet en allongeant le tuyau MNQR, la distance de l'image deviendra plus petite, et il faut approcher du verre la table blanche pour avoir une représentation nette et distincte; mais elle deviendra dans ce cas plus petite.

III. Il est aussi clair que l'image sera toujours renversée; mais il est aisé de remédier à cet inconvénient : on n'a qu'à renverser l'objet OP même en tournant le haut en bas, et alors l'image sera représentée debout sur la table blanche.

IV. C'est encore une remarque générale que, plus on grossit l'image sur la table blanche, moins elle aura de lumière et deviendra plus obscure; au lieu que si l'on fait l'image petite, elle devient plus lumineuse et plus brillante. La raison en est évidente : toute la clarté provient de l'illumination de l'objet; donc, plus elle est répandue dans un grand espace, plus elle doit être affaiblie; mais étant réduite dans un moindre espace, elle sera plus vive et plus brillante.

V. Donc, plus on veut grossir la représentation, plus on doit renforcer l'illumination de l'objet, en allumant plus de lampes dans les ailes de la machine, ou en rendant leur flamme plus forte : or, pour de petites représentations, une illumination médiocre est suffisante.

Cette machine, dont je viens de donner la description, est nommée une *lanterne magique*, pour la distinguer d'une chambre obscure ordinaire dont on se sert pour représenter les objets fort éloignés : la figure a sans doute occasionné le nom de lanterne, surtout puisqu'on y enferme des lumières; mais l'épithète de *magique* vient de ce que les premiers possesseurs ont voulu persuader au peuple qu'il s'y mêlait quelque magie ou sortilége. Cependant, les lanternes magiques ordinaires ne sont point construites de cette façon, et on ne représente par elles d'autres objets que des figures peintes sur du verre; au lieu que cette machine, dont

j'ai imaginé la construction, peut être appliquée à toutes sortes d'objets.

On peut même s'en servir pour représenter les plus petits objets et les grossir prodigieusement, de sorte que la plus petite mouche paraîtra aussi grande qu'un éléphant; mais alors la clarté produite par des lampes ne suffit pas, il faut disposer la machine en sorte que les objets puissent être éclairés par les rayons du soleil, renforcés par un verre ardent : alors la machine change encore de nom, et est appelée un *microscope solaire*, dont j'aurai occasion de parler plus amplement dans la suite.

9 janvier 1762.

LETTRE LXV.

Sur l'usage et l'effet d'un verre convexe simple lorsqu'on regarde immédiatement à travers.

On se sert aussi de verres convexes pour regarder immédiatement à travers; mais, pour en expliquer les différents usages, il faut pousser plus loin nos recherches sur leur nature.

Ayant observé la distance du foyer d'un tel verre, j'ai déjà remarqué que lorsque l'objet en est fort éloigné, son image est représentée dans le foyer même; mais si l'on approche l'objet du verre, l'image s'en éloigne de plus en plus; de sorte que si la distance de l'objet est égale à la distance du foyer du verre, l'image s'en éloigne à l'infini, et devient par conséquent infiniment grande.

La raison en est que les rayons OM, OM (*fig.* 158), qui tombent du point O sur le verre, sont rompus par le verre, en sorte qu'ils deviennent parallèles entre eux comme NF et NF : et comme des lignes parallèles sont censées courir à l'infini, et que l'image est toujours où les rayons qui sont sortis d'un point de l'objet se réunissent de nouveau après la réfraction; dans le cas où la distance de l'objet OA est égale à la distance de foyer du verre, le lieu de l'image s'éloigne à l'infini; et puisqu'il est indifférent qu'on conçoive que les lignes parallèles NF et NF concourent à l'infini vers la gauche ou qu'elles concourent vers la droite, on peut dire également que l'image se trouve, tant à droite

Fig. 158.

qu'à gauche, dans un éloignement infini, l'effet en étant toujours le même.

Cela remarqué, Votre Altesse jugera aisément en quel lieu l'image doit se trouver lorsqu'on approche l'objet davantage du verre.

Soit OP (*fig.* 159) l'objet; et puisque sa distance OA du verre convexe est moindre que sa distance du foyer, les rayons OM, OM qui y tombent du point O sont trop divergents pour que la force réfractive du verre les puisse rendre parallèles entre eux : ils demeureront donc encore, après la réfraction, divergents, comme le marquent les lignes NF et NF, mais beaucoup moins qu'auparavant; et conséquemment, en prolongeant ces lignes en arrière, elles concourront quelque part en *o*, comme Votre Altesse le peut voir dans les lignes ponctuées No et No. Par conséquent, les rayons NF et NF, après avoir passé par le verre, tiennent la même route que s'ils venaient du point *o*, quoiqu'ils n'aient pas passé par ce point, puisque ce n'est que dans le verre qu'ils ont pris cette nouvelle route. Un œil donc qui reçoit ces rayons réfractés NF, NF, sera également affecté que si ces rayons venaient effectivement du point *o*, et par conséquent s'imaginera que l'objet de sa vision existe en *o*. Toutefois, il n'y aura point d'image comme dans le cas précédent : on aurait beau mettre en *o* une table blanche, il ne s'y représenterait aucun tableau, faute de rayons; c'est pourquoi on dit qu'il y a en *o* une image imaginaire, c'est-à-dire une image qui n'est point réelle, le mot *imaginaire* étant opposé à celui de *réel*.

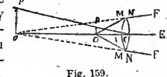


Fig. 159.

Cependant un œil placé en E reçoit la même impression que si l'objet OP, dont les rayons sont sortis originairement, existait en *o*. Il est donc très-important de connaître, tout comme dans les cas précédents, tant le lieu que la grandeur de cette image imaginaire *op*. Pour le lieu, il suffit de remarquer que si la distance de l'objet AO était égale à la distance du foyer du verre, l'image en serait éloignée à l'infini, et c'est ce que ce cas a de commun avec le cas précédent; mais plus on approche l'objet du verre, ou que la distance AO devient plus petite que la distance du foyer du verre, plus aussi l'image imaginaire s'approche du verre, de sorte pourtant qu'elle reste toujours plus éloignée du verre que l'objet même.

Pour éclaircir la chose par un exemple, supposons que la distance de foyer du verre soit de six pouces; et pour les différents éloi-

gnements de l'objet, la table ci-jointe nous marque la distance de l'image imaginaire *op*.

Distance	de l'objet AO	6,	5,	4,	3,	2,	1.
	de l'image *Ao*. . . .	infini,	30,	12,	6,	3,	1/5.

Pour la grandeur de cette image imaginaire *op*, la règle de la trouver est aisée et générale : on n'a qu'à tirer par le milieu du verre (que j'ai marqué par la lettre C), et par l'extrémité de l'objet P, la ligne droite CP*p*, et où elle rencontre la ligne *op* tirée perpendiculairement en *o* à l'axe du verre, elle donnera la grandeur de l'image imaginaire *op;* d'où l'on voit que cette image est toujours plus grande que l'objet même OP, et cela autant de fois qu'elle est plus éloignée du verre que l'objet OP. Ensuite on voit aussi que cette image n'est pas renversée comme dans le cas précédent, mais qu'elle est debout de même que l'objet.

De là Votre Altesse comprend quel usage peuvent tirer de ces verres les personnes dont la vue n'est pas bonne pour regarder les objets de près, et qui les voient mieux dans un grand éloignement. Ces personnes n'ont qu'à regarder ces objets par des verres convexes, et elles les verront comme s'ils étaient fort éloignés. Ce défaut de ne pas bien voir les objets qui sont près de nous se trouve ordinairement chez les vieillards, qui se servent aussi pour cette raison de lunettes qui contiennent deux verres convexes, et qui, étant exposés au soleil, brûlent aussi bien qu'un verre ardent, ce qui fait connaître la distance du foyer de chaque verre. Quelques personnes ont besoin de lunettes dont le foyer est fort court; d'autres se servent de lunettes d'un foyer plus grand, selon la portée de leur vue : mais il me suffit pour le présent d'avoir expliqué l'usage de ces lunettes en général.

12 janvier 1762.

LETTRE LXVI.

Sur l'usage et l'effet d'un verre concave, lorsqu'on regarde immédiatement à travers.

Votre Altesse vient de voir comment les verres convexes soulagent la vue des vieillards, en leur représentant les objets plus loin qu'ils sont effectivement; mais il y a aussi des yeux qui demandent, pour voir distinctement les objets, qu'ils soient représentés plus près, et ce sont les verres concaves qui leur rendent ce ser-

vice : ceci me conduit à l'explication de l'effet des verres concaves, qui est directement contraire à celui des verres convexes.

Lorsque l'objet OP (*fig.* 160) est fort éloigné, et que ses rayons OM, OM tombent presque parallèles ser le verre concave TT, alors, au lieu de devenir convergents par la réfraction du verre, ils deviennent au contraire plus divergents, en suivant les routes NF, NF, qui, étant prolongées en arrière, concourent dans le point *o*; de sorte qu'un œil placé par exemple en E, reçoit ces rayons réfractés de la même manière que s'ils partaient du point *o*, quoique effectivement ils viennent du point O; et c'est par cette raison que j'ai dans la figure ponctué les lignes droites N*o*, N*o*.

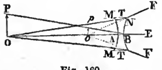


Fig. 160.

Comme l'objet est supposé être infiniment éloigné, si le verre était convexe, le point *o* serait ce qu'on nomme foyer; mais puisqu'ici il n'arrive aucune concurrence réelle de rayons, on nomme alors ce point le foyer imaginaire du verre concave; quelques auteurs le nomment aussi le point de dispersion, puisque les rayons réfractés par le verre semblent être dispersés de ce point.

Les verres concaves n'ont donc point un vrai foyer comme les convexes, mais seulement un foyer imaginaire, dont la distance au verre A*o* est cependant aussi nommée la distance du foyer de ce verre, et sert, par le moyen d'une règle semblable à celle qu'on donne pour les verres convexes, à déterminer le lieu de l'image lorsque l'objet n'est pas infiniment éloigné. Or, cette image est toujours imaginaire; au lieu que, pour les verres convexes, elle ne devient imaginaire que lorsque l'objet est plus proche que la distance du foyer. Sans entrer dans l'explication de cette règle, qui regarde uniquement le calcul, il suffit de remarquer :

I. Que lorsque l'objet OP est infiniment éloigné, l'image imaginaire *op* est représentée à la distance de foyer du verre concave, et cela vers le même côté que se trouve l'objet. Cependant, quoique cette image soit imaginaire, l'œil placé en E est tout aussi bien affecté que si elle était réelle, comme j'ai eu l'honneur de le dire à Votre Altesse au sujet des verres convexes, où l'objet est plus proche du verre que sa distance du foyer.

II. Lorsqu'on approche davantage du verre l'objet OP, son image *op* s'approchera aussi davantage du verre, mais de sorte que l'image sera toujours plus proche du verre que l'objet; au lieu que, pour les verres convexes, l'image en est plus éloignée que l'objet. Pour mieux éclaircir cela, supposons que la distance de foyer du

verre concave soit de six pouces. Si la distance de l'objet OA est

infinie, 30, 12, 6, 3, 2,

la distance de l'image oA sera

6, 5, 4, 3, 2, 1 1/2.

III. Pour la grandeur de l'image imaginaire *op*, on la détermine toujours par la même règle. On tire du milieu du verre une ligne droite à l'extrémité de l'objet P, qui passera alors par l'extrémité *p* de l'image : car, puisque la ligne PA représente un rayon qui vient de l'extrémité de l'objet, il faut que ce même rayon, après la réfraction, passe par l'extrémité de l'image; mais ce rayon PA, puisqu'il passe par le milieu du verre, ne souffre aucune réfraction : donc il faut qu'il passe lui-même par l'extrémité de l'image, qui sera en *p*.

IV. Cette image n'est pas renversée, mais dans un sens naturel comme l'objet; et on peut observer cette règle générale, que, toutes les fois que l'image tombe du même côté du verre où est l'objet, l'image est toujours représentée debout, soit que le verre soit convexe ou concave; mais quand l'image est représentée de l'autre côté du verre, alors l'image est renversée; or, ce cas ne saurait avoir lieu que dans les verres convexes.

V. De là il est clair que les images représentées par les verres concaves sont toujours plus petites que les objets : et la raison en est évidente, puisque les images sont plus proches que les objets; on n'a qu'à regarder la figure pour s'assurer de cette vérité. Ce sont les propriétés principales qu'il est bon de remarquer sur la nature des verres concaves, et la manière dont ils représentent les objets.

Maintenant il est aisé de comprendre comment les verres concaves rendent de grands services à ceux qui ont une vue courte. Votre Altesse connaît bien des personnes qui ne sauraient lire ou écrire à moins qu'elles ne touchent presque le papier de leur nez. Afin donc que ces gens voient distinctement, il faut qu'ils approchent les objets de leurs yeux, et je crois avoir déjà remarqué qu'on leur donne le nom de *myopes :* à ceux-ci les verres concaves seront d'un excellent usage, car ils leur représentent les objets les plus éloignés comme étant fort près, les images n'étant plus éloignées de ces verres que de leur distance de foyer, qui, pour la plupart, ne surpasse pas quelques pouces.

Il est bien vrai que ces images sont aussi beaucoup plus petites que les objets mêmes; mais cela n'apporte aucun obstacle à la vision distincte. Une petite chose de près nous peut paraître plus

grande qu'un très-grand corps lorsqu'il est fort éloigné. En effet, une pièce de *deux dreyer* [1] paraîtra à Votre Altesse plus grande qu'une étoile du ciel, quand même cette étoile surpasserait de beaucoup la terre en grosseur.

Ceux donc qui ont la vue courte, ou les myopes, ont besoin de verres qui leur représentent les objets plus près, et ce sont les verres concaves. Or, ceux qui ont la vue trop longue, qu'on nomme *presbytes*, ont besoin de verres convexes, qui leur représentent les objets dans un plus grand éloignement.

16 janvier 1762.

LETTRE LXVII.

De la grandeur apparente, de l'angle visuel, et sur les microscopes en général.

J'ai eu l'honneur de parler à Votre Altesse des myopes, qui sont obligés de se servir de verres concaves pour bien voir les objets éloignés, pendant que les presbytes se servent de verres convexes pour bien voir les objets voisins : chaque vue a une certaine étendue, chacun voudrait avoir un verre qui lui représentât parfaitement les objets. Chez les myopes, cette distance est fort petite, et chez les presbytes très-grande; mais on trouve aussi des yeux si bien conditionnés, qu'ils voient également bien les objets voisins et les éloignés.

Cependant, de quelque nature que soit la vue d'un homme, la distance ne doit jamais être trop petite : il n'y a point de myopes qui puissent voir distinctement à une distance plus petite qu'un pouce. Votre Altesse aura sans doute bien observé que lorsqu'elle approche un objet trop près de ses yeux, elle ne voit rien que très-confusément; cela dépend de la structure des yeux, qui est telle dans les hommes, qu'ils ne peuvent pas voir à une trop petite distance : mais il n'y a aucun doute que les insectes puissent voir à de très-petites distances, et que les objets fort éloignés leur demeurent invisibles. Je ne crois pas qu'une petite mouche puisse voir les étoiles, parce qu'elle voit très-bien à la distance d'une dixième partie d'un pouce, où nous ne voyons absolument rien. Cette considération me conduit à l'explication des microscopes, qui nous représentent les plus petits objets comme s'ils étaient bien grands. Or, pour en donner une juste idée, il faut bien distinguer la grandeur apparente de chaque objet de sa grandeur véritable;

1. Petite monnaie d'argent qui est la quarante-huitième partie d'un écu, et un peu plus grande que la prunelle de l'œil.

celle-ci fait l'objet de la géométrie, et est invariable tant que le corps demeure dans son état. Mais la grandeur apparente peut varier à l'infini, quoique le corps demeure toujours le même. Ainsi, les étoiles nous paraissent extrêmement petites, quoique leur grandeur véritable soit prodigieuse. La raison en est que nous en sommes à une très-grande distance. S'il nous était permis de nous approcher, elles nous paraîtraient plus grandes : d'où Votre Altesse jugera aisément que la grandeur apparente dépend de l'angle que font entre eux les rayons qui viennent des extrémités de l'objet dans nos yeux.

Soit POQ (*fig.* 161) l'objet de notre vue, lequel, si l'œil était placé en A, paraîtra sous l'angle PAQ, qui est nommé l'angle visuel, et nous indique la grandeur apparente de cet objet; d'où il est évident que plus l'œil s'éloigne de l'objet, plus cet angle devient petit; et ainsi il est possible que les plus grands corps nous paraissent sous un très-petit angle visuel, pourvu que nous en soyons assez éloignés, comme il arrive dans les étoiles. Mais quand l'œil s'approche davantage de l'objet, et qu'il le regarde de B, il lui paraîtra sous l'angle visuel PBQ, qui est visiblement plus grand que PAQ. Approchons l'œil jusqu'en C, et l'angle visuel PCQ sera encore plus grand. De plus, l'œil étant placé en D, l'angle visuel sera PDQ; et en l'approchant jusqu'en E, l'angle visuel sera PEQ toujours plus grand. Donc, plus on approche l'œil de l'objet, plus l'angle visuel devient grand, et ainsi la grandeur apparente plus grande. Donc, quelque petit que soit l'objet, il est possible d'en augmenter la grandeur apparente autant qu'on voudra : on n'a qu'à s'en approcher autant qu'il faut pour un si grand angle visuel. Ainsi, une mouche étant assez proche de l'œil pourra paraître sous un aussi grand angle qu'un éléphant à la distance de dix pieds. Dans une telle comparaison, il faut soigneusement ajouter la distance dans laquelle on suppose voir l'éléphant; car, sans cette condition on ne dirait absolument rien, puisqu'un éléphant ne nous paraît grand que quand nous n'en sommes pas fort éloignés. Déjà, à la distance d'un mille, on ne distingue peut-être plus un éléphant d'un cochon; et s'il était transporté dans la lune, il deviendrait absolument invisible, à cause de sa trop petite grandeur apparente : et à cet égard je pourrais bien dire qu'une mouche me paraît plus grande qu'un éléphant, s'il se trouvait dans un très-grand éloignement. Ainsi, quand on veut parler avec précision, on ne

Fig. 161.

peut pas parler de la grandeur apparente d'un corps sans avoir égard à la distance de ce corps, puisque le même corps nous peut paraître tantôt très-grand, tantôt très-petit, selon que la distance est plus petite on plus grande. Il semble donc très-facile de voir les plus petits objets sous de très-grands angles visuels : on n'a qu'à les tenir à une très-petite distance de l'œil.

Une mouche pourrait bien se servir de cet expédient; mais les yeux des hommes ne sauraient rien voir dans de trop petites distances, quelque courte que soit leur vue; d'ailleurs les bonnes vues voudraient aussi voir les plus petits objets d'une extrême grosseur. Il s'agit de trouver un moyen par lequel nous puissions voir un objet distinctement, nonobstant sa grande proximité de l'œil. Les verres convexes nous procurent cet avantage, en éloignant l'image des objets qui nous sont trop près.

Qu'on se serve d'un très-petit verre convexe MN (*fig.* 162), dont la distance de foyer soit très-petite, comme, par exemple, un demi-pouce : si l'on place devant ce verre un petit objet OP à une distance un peu plus petite que d'un demi-pouce, le verre en représentera l'image quelque part en op, aussi loin qu'on voudra. Qu'on tienne donc l'œil derrière le verre, et il verra l'objet de la même manière que s'il était actuellement en *o*, et ainsi dans un éloignement suffisant, et tout comme si sa grandeur était *op* : comme l'œil est supposé très-proche du verre, l'angle visuel sera *pio*, c'est-à-dire le même que P*i*O sous lequel l'œil nu verrait l'objet OP dans cette proximité; mais la vision est à présent devenue distincte par le moyen du verre : c'est le principe sur lequel la construction des microscopes est fondée.

Fig. 162.

19 janvier 1762.

LETTRE LXVIII.

Sur l'estime des grossissements des objets contemplés par des microscopes.

Quand plusieurs personnes regardent par un microscope le même objet, comme, par exemple, le pied d'une mouche, tous conviennent qu'ils le voient très-grand; mais leur jugement sur la véritable grosseur sera fort partagé : l'un dira que ce pied lui paraît aussi grand que celui d'un cheval; un autre, que celui d'une chèvre; le troisième, que celui d'un chat. Or, au fond, aucun n'avance rien de précis là-dessus, à moins qu'il n'ajoute à quelle distance il pré-

tend voir les pieds du cheval, ou de la chèvre, ou du chat : ils sous-entendent donc eux-mêmes, sans qu'ils le disent, chacun une certaine distance, laquelle étant sans doute différente, on n'a pas lieu d'être surpris de leurs divers sentiments, puisqu'un pied de cheval étant vu de loin peut bien ne pas paraître plus grand qu'un pied de chat vu de près. Ainsi, quand il s'agit de dire combien un microscope grossit les objets, il faut s'accoutumer à parler d'une manière plus précise, et expliquer principalement la distance dans la comparaison qu'on veut faire.

Or, d'abord il ne convient pas de comparer les apparences que nous offrent les microscopes avec les objets d'une autre nature, que nous sommes accoutumés de voir tantôt loin, tantôt près; le plus sûr moyen de régler cette estime semble celui dont les auteurs qui traitent des microscopes se servent actuellement. Ils comparent un petit objet vu par le microscope avec celui sous lequel le même objet serait vu à la vue simple en étant éloigné à une certaine distance; et ils sont d'avis que, pour bien contempler un tel petit objet à la vue simple, il le faut placer à la distance de huit pouces; ils se règlent dans cela sur de bons yeux, car un myope s'en approcherait bien davantage, et un presbyte ferait le contraire. Mais cette différence n'influe pas sur le raisonnement, pourvu qu'on fixe la distance sur laquelle on se règle; et il n'y a aucune raison qui nous oblige de fixer une autre distance que celle de huit pouces, reçue de tous les auteurs qui ont traité cette matière. Ainsi, quand on dit qu'un microscope rend les objets 100 fois plus grands, Votre Altesse entendra qu'à l'aide de ce microscope les objets paraissent 100 fois plus grands que si nous les regardions à la distance de 8 pouces, et par ce moyen elle se formera une juste idée de l'effet d'un microscope.

En général, un microscope grossit autant de fois qu'un objet paraît plus grand que si on le regardait sans le secours du verre à la distance de 8 pouces. Votre Altesse conviendra aisément que c'est déjà un effet surprenant que de voir un objet 100 fois plus grand qu'il ne paraît à la distance de 8 pouces; mais on a poussé la chose beaucoup plus loin, et on a des microscopes qui grossissent jusqu'à 500 fois, ce qui est prodigieux : on pourrait bien dire alors que la jambe d'une mouche paraît plus grande que celle d'un éléphant. Je crois même qu'on pourrait bien faire des microscopes qui grossiraient 1,000 fois, et même 2,000 fois, qui nous découvriraient sans doute quantité de choses qui nous sont encore inconnues.

Mais quand on dit qu'un objet paraît par le microscope 100 fois

plus grand qu'étant vu à la distance de 8 pouces, il faut entendre par là que l'objet est grossi tant en longueur qu'en largeur et profondeur, de sorte que chacune de ces dimensions paraît 100 fois plus grande. On n'a donc qu'à concevoir à la distance de 8 pouces un autre objet semblable au premier, mais dont la longueur soit 100 fois plus grande, de même que la largeur et la profondeur, et ce sera l'image qu'on voit par le microscope. Or, si tant la longueur que la largeur et la profondeur d'un objet sont 100 fois plus grandes que celles d'un autre, Votre Altesse comprendra aisément que toute l'étendue sera beaucoup plus de 100 fois plus grande. Pour mettre cela dans tout son jour, concevons deux parallélogrammes ABCD et EFGH (*fig.* 163) qui aient la même largeur, mais que la longueur du premier AB soit 5 fois plus grande que la longueur de l'autre EF; et il est clair que l'aire ou l'espace contenu dans le premier est 5 fois plus grande que celle qui est renfermée dans l'autre, puisque, en effet, celui-ci est 5 fois contenu dans le premier. Donc, pour que le parallélogramme AD soit 5 fois plus grand que le parallélogramme EH, il suffit que sa longueur AB soit 5 fois plus grande, pendant que la largeur est la même; et si, outre cela, la largeur était aussi 5 fois plus grande, il deviendrait encore 5 fois plus grand; et ainsi 5 fois 5 fois, c'est-à-dire 25 fois plus grand. Ainsi, de deux surfaces semblables dont l'une est 5 fois plus longue et 5 fois plus large que l'autre, celle-là est effectivement 25 fois plus grande.

Fig. 163.

Si nous mettons encore en ligne de compte la profondeur ou hauteur, l'augmentation sera encore plus grande. Que Votre Altesse conçoive deux chambres dont l'une soit 5 fois plus longue, 5 fois plus large et aussi 5 fois plus haute que l'autre; sa capacité deviendra 5 fois 25 fois, c'est-à-dire 125 fois plus grande. Donc, lorsqu'on dit qu'un microscope grossit 100 fois, puisqu'on le doit entendre tant de la longueur que de la largeur et profondeur ou épaisseur, c'est-à-dire de toutes les trois dimensions, toute l'étendue de l'objet sera augmentée 100 fois 100 fois 100 fois; or, 100 fois 100 fait 10,000, qui, étant pris encore 100 fois, donne 1,000,000, ou un million: ainsi, quand un microscope grossit 100 fois, l'étendue tout entière de l'objet est représentée 1,000,000 plus grande. Cependant on se contente de dire que le microscope ne grossit que 100 fois; mais il faut entendre que chaque dimension, savoir, la longueur, la largeur et la profondeur, est représentée 100 fois plus grande. Donc, si un microscope grossissait 1,000

fois, l'étendue entière de l'objet deviendrait 1,000 fois 1,000 fois 1,000 fois plus grande, ce qui fait 1,000,000,000, ou mille millions; ce qui serait un effet prodigieux. Cette remarque est bien nécessaire pour se former une juste idée de ce qu'on dit sur la force des microscopes.

23 janvier 1762.

LETTRE LXIX.

Proposition fondamentale pour la construction des microscopes simples, et devis de quelques microscopes simples.

Ayant expliqué à Votre Altesse de quelle manière on doit juger de la force des microscopes, il me sera aisé de démontrer la proposition fondamentale pour la construction des microscopes simples. Or, à cette occasion, je dois remarquer qu'il y a deux sortes de microscopes : les uns ne contiennent qu'un seul verre, et les autres en contiennent deux ou plusieurs; ceux-là portent le nom de microscopes simples, et ceux-ci de microscopes composés, qui demandent des éclaircissements particuliers. J'entretiendrai Votre Altesse en premier lieu des microscopes simples, qui ne consistent que dans un seul verre convexe, dont l'effet est déterminé par cette proposition : *Un microscope simple grossit autant de fois que sa distance de foyer est plus près que 8 pouces*. En voici la démonstration :

Soit MN (*fig*. 164) un tel verre convexe dont la distance de foyer soit CO, à laquelle il faut placer l'objet OP à peu près, afin que l'œil le voie distinctement; or, il verra cet objet sous l'angle OCP. Mais si l'on regardait le même objet à la distance de 8 pouces, il paraîtrait sous un angle autant de fois plus petit que la distance de 8 pouces surpasse la distance CO; et l'objet paraîtra donc autant de fois plus grand que si on le regardait à la distance de 8 pouces. Or, selon la règle établie ci-dessus, un microscope grossit autant de fois qu'il nous présente les objets plus grands que si nous les regardions à la distance de 8 pouces. Par conséquent un microscope grossit autant de fois que sa distance de foyer est plus petite que 8 pouces. Donc, un verre dont la distance de foyer est un pouce grossit précisément 8 fois; et un verre dont la distance de foyer n'est qu'un demi-pouce grossira 16 fois. On divise un pouce en 12 parties qu'on nomme lignes, de sorte qu'un demi-

P M O C N

Fig. 164.

pouce contient 6 lignes ; de là il sera aisé de dire combien de fois chaque verre dont la distance de foyer est donnée en lignes doit grossir, selon cette table :

Distance de foyer du verre. .	12,	8,	6,	4,	3,	2,	1,	1/2	lignes.
Le verre grossit.	8,	12,	16,	24,	32,	48,	96,	192	fois.

Ainsi un verre convexe dont la distance de foyer est une ligne, grossit 96 fois ; et si la distance est d'une demi-ligne, le microscope grossira 192 fois, ou environ 200 fois. Si l'on voulait des effets plus grands, il faudrait faire des verres dont le foyer fût encore plus petit. Or, j'ai déjà remarqué que, pour faire un verre d'un certain foyer donné, on n'a qu'à mettre le rayon de chaque face égal à cette distance de foyer, de sorte que le verre devienne également convexe des deux côtés. Je m'en vais donc exposer aux yeux de Votre Altesse les dessins de quelques-uns de ces verres ou microscopes.

I. La distance AO du foyer du verre MN (*fig.* 165) est d'un pouce ou de 12 lignes. Ce microscope grossit donc 8 fois.

II. La distance de foyer du verre MN est de 8 lignes. Ce microscope grossit 12 fois.

III. La distance de foyer du verre MN est de 6 lignes. Ce microscope grossit 16 fois.

IV. La distance de foyer de ce verre est de 4 lignes. Ce microscope grossit 24 fois.

V. La distance de foyer de ce verre est de 3 lignes. Ce microscope grossit 32 fois.

VI. La distance de foyer de ce verre es de 2 lignes. Ce microscope grossit 48 fois.

VII. La distance de foyer de ce verre n'est que d'une ligne. Ce microscope grossit 96 fois.

Fig. 165.

On peut faire encore des microscopes beaucoup plus petits. Les artistes en exécutent, et nous procurent par ce moyen des effets beaucoup plus considérables · par où il faut bien remarquer que la distance de l'objet au verre devient de plus en plus petite, puisqu'elle doit être à peu près égale à la distance de foyer du verre. Je dis à peu près, parce que chaque œil y approche le verre tant soit peu, plus ou moins, selon sa constitution ; les myopes l'approchent davantage, et les presbytes moins. De là Votre Altesse voit que plus l'effet est grand, plus le verre ou le microscope devient petit, et plus aussi il faut approcher l'objet : ce qui est un très-grand inconvénient d'un côté, puisqu'il est in-

commode de regarder à travers un si petit verre, et d'un autre côté puisque l'objet doit être fixé si près de l'œil. On tâche de remédier à ces inconvénients par une garniture convenable qui en facilite l'usage ; mais la vision de l'objet se trouble considérablement dès que la distance de l'objet souffre le moindre changement ; et comme dans les plus petits verres l'objet doit presque toucher le verre, dès que la surface de l'objet est tant soit peu inégale, on ne voit l'objet que confusément. Car quand les éminences se trouvent à la juste distance, les concavités en sont trop éloignées, et ainsi ne sauraient être vues que très-confusément. C'est la principale raison qui nous oblige de renoncer aux microscopes simples, quand on souhaite des microscopes qui grossissent beaucoup, et de recourir aux microscopes composés.

26 janvier 1762.

LETTRE LXX.

Sur les bornes et les défauts des microscopes simples.

Votre Altesse vient de voir comment il faut faire des microscopes simples, qui grossissent autant de fois qu'on peut souhaiter : on n'a qu'à fixer une ligne droite, comme celle que j'ai marquée AB (*fig.* 166), qui contienne précisément huit pouces du pied du Rhin, dont on se sert en Allemagne. Alors, autant de fois que l'on veut grossir l'objet, il faut partager cette ligne AB en autant de parties égales, dont une donnera la distance de foyer du verre demandé. Ainsi l'on veut grossir cent fois, la particule A 1 est la centième partie de la ligne AB ; par conséquent il faut faire un verre dont la distance de foyer soit précisément égale à cette partie A 1, qui donnera en même temps le rayon des faces du verre qui est représenté article VII de la *fig.* 165.

Votre Altesse voit par là que, plus l'effet est grand, plus le verre doit être petit, de même que sa distance de foyer, distance à laquelle il faut mettre l'objet OP devant le verre en appliquant l'œil par derrière ; et si l'on faisait le verre deux fois plus petit que je ne l'ai désigné pour grossir deux cents fois, le verre deviendrait si petit qu'il faudrait presque un microscope pour voir le verre lui-même : aussi faudrait-il s'approcher si près qu'on toucherait presque le verre ; ce qui est sans doute un très-grand inconvénient, comme j'ai eu l'honneur de l'observer : de

A

B

Fig. 166

sorte qu'on ne saurait à peine pousser l'effet du microscope au delà de deux cents fois, ce qui ne suffit pas pour voir les petites choses que la nature renferme. L'eau la plus claire contient de petits animalcules qui, quoiqu'on les voie grossis deux cents fois, ne laissent pas de paraître comme des puces; et il faudrait avoir des microscopes qui grossissent vingt mille fois pour les voir de la grandeur d'un rat; or, il s'en faut beaucoup qu'on atteigne ce degré, même avec les microscopes composés.

Mais, outre les inconvénients des microscopes simples que je viens de remarquer, lorsqu'on demande de très-grands effets, tous ceux qui se servent de ces instruments se plaignent encore d'un autre qui n'est pas moins fâcheux : c'est que plus on grossit les objets, plus ils paraissent obscurs; et il semble qu'on les voie à la lueur d'une très-faible lumière, ou même au clair de la lune, de sorte qu'on n'y saurait presque rien distinguer. Votre Altesse n'en sera pas surprise lorsqu'elle voudra se souvenir que la lumière de la pleine lune est au-delà de deux cent mille fois plus faible que celle du soleil. C'est donc un article bien important d'expliquer d'où vient cette diminution de lumière. On comprend aisément que si les rayons qui viennent d'un très-petit objet nous le doivent représenter comme s'il était beaucoup plus grand, cette petite quantité de lumière ne saurait être suffisante : cependant, quelque fondée que paraisse cette raison, elle n'est pas valable, et ne fait que nous éblouir sur cette question. Car si le verre, en grossissant davantage, entraîne après lui nécessairement une diminution de clarté, on devrait aussi s'en apercevoir dans les moindres effets, à supposer même que ce ne fût pas à un si haut degré; mais on peut grossir jusqu'à cinquante fois, sans qu'on s'aperçoive de la moindre diminution de lumière, qui cependant devrait être cinquante fois plus faible si la raison alléguée était juste. Il faut donc chercher ailleurs la cause de ce phénomène, et il faut même remonter aux premiers principes de la vision.

A cette occasion, qu'il plaise à Votre Altesse de se rappeler ce que j'ai eu l'honneur de lui dire sur l'usage de la pupille, ou bien de ce trou noir qu'on voit sur le milieu de l'iris dans l'œil. C'est par cette ouverture que les rayons entrent dans les yeux; et ainsi plus cette ouverture est grande, plus il entre de rayons. Il faut ici considérer deux cas où les objets sont fort lumineux et brillants, et où ils ne sont éclairés que d'une lumière fort faible. Dans le premier cas la pupille se contracte elle-même, sans que notre volonté le commande; et le Créateur l'a pourvue de cette faculté, pour préserver l'intérieur de l'œil du trop grand éclat de la lu-

mière, qui blesserait infailliblement les nerfs. Donc, toutes les fois qu'on se trouve dans un lieu fort éclairé, on voit que toutes les pupilles se rétrécissent, pour ne laisser entrer dans les yeux qu'autant de rayons qu'il en faut pour y dépeindre une image assez lumineuse. Mais le contraire arrive lorsqu'on se trouve dans un lieu sombre; alors la pupille s'agrandit pour recevoir la lumière en plus grande quantité. Il est fort aisé de remarquer ce changement toutes les fois qu'on passe d'un lieu obscur dans un lieu fort éclairé. Pour le sujet dont il s'agit ici, je me borne à cette circonstance, que plus il entre de rayons dans l'œil, plus l'image qui est portée sur la rétine sera lumineuse; et, réciproquement, plus la quantité de rayons qui entrent dans l'œil est petite, plus aussi l'image dans l'œil devient faible et paraît par conséquent plus obscure. Or, il peut arriver qu'il n'entre que fort peu de rayons dans l'œil, quoique la pupille soit bien ouverte : on n'a qu'à faire avec une épingle un petit trou dans un carton, et regarder quelque objet; alors, quelque éclairé qu'il soit du soleil, il paraîtra d'autant plus sombre que le trou est plus petit, et par un trou semblable on peut même regarder le soleil. La raison en est bien évidente, puisqu'il n'entre dans l'œil que fort peu de rayons : quelque ouverte que soit la pupille, c'est le trou du carton qui détermine la quantité de lumière qui entre dans l'œil; et non la pupille, qui fait ordinairement cette fonction.

Il arrive la même chose dans les microscopes qui grossissent beaucoup; car lorsque le verre est extrêmement petit, il n'y passe qu'une fort petite quantité de rayons, comme *mn* (*fig.* 167), laquelle étant plus petite que l'ouverture de la pupille, l'objet en doit paraître d'autant plus obscur; par là on voit que cette diminution de lumière n'arrive qne lorsque le verre MN, ou plutôt sa partie ouverte, est plus petite que la pupille. S'il était possible de produire un grand grossissement par le moyen d'un verre plus grand, cet obscurcissement n'aurait pas lieu, et c'est la véritable explication de la question proposée. Mais, pour remédier à cet inconvénient dans les grands effets du microscope, on tâche d'éclairer l'objet autant qu'il est possible, pour rendre plus fort le peu de rayons qui est porté à l'œil. Pour cet effet, on éclaire les objets par le soleil même, et on se sert aussi de miroirs qui y renvoient la clarté du soleil. Ce sont à peu près toutes les circonstances qu'on a à considérer dans les microscopes simples, et Votre Altesse jugera par là aisément de l'effet de tous ceux qu'elle aura occasion de voir.



Fig. 167.

30 janvier 1762.

LETTRE LXXI.

Sur les télescopes et leur effet.

Avant que d'expliquer la construction des microscopes composés, j'espère qu'une digression sur les lunettes ou télescopes ne déplaira point à Votre Altesse. Ces deux espèces d'instruments sont parfaitement liés ensemble; l'un sert à mieux éclaircir l'autre. Comme les microscopes servent à considérer les objets voisins en nous les représentant sous un angle beaucoup plus grand que si si nous les regardions à une certaine distance, comme de 8 pouces; l'autre espèce est destinée à nous mieux découvrir les objets fort éloignés, en nous les représentant sous un plus grand angle qu'à la vue simple. Ces instruments portent plusieurs noms, tant selon leur grosseur que selon leur destination; les plus petits sont nommés *lunettes de poche;* d'autres plus grands ont le même nom, qu'il faut bien distinguer des lunettes que les vieillards portent sur le nez. Ceux dont se servent les astronomes sont nommés *tubes;* or, le nom général de tous est celui de *télescopes* [1]. Ce sont donc de tels instruments qui nous représentent les objets fort éloignés sous un plus grand angle qu'ils paraissent à la vue simple: cette définition est très-juste, et ne renferme rien d'arbitraire comme celle des microscopes, dont l'effet est rapporté à une certaine distance arbitraire, qu'on suppose communément de 8 pouces.

Mais lorsqu'il s'agit d'objets fort éloignés, dont la distance est trop grande pour notre vue, l'effet se rapporte très-naturellement à la même distance, et un télescope grossit autant de fois qu'il nous représente les objets sous un plus grand angle qu'à la vue simple. Par exemple, la lune paraît à la vue simple sous un angle d'un demi-degré; par conséquent un télescope grossit 100 fois lorsqu'il nous représente la lune sous un angle de 50°, qui est 100 fois plus grand qu'un demi-degré; s'il grossissait 200 fois, il ferait voir la lune sous un angle de 100°; et ainsi la lune paraîtrait remplir plus de la moitié du ciel visible, dont toute l'étendue n'est que de 180°.

Communément on dit que les télescopes nous approchent les

1. Les physiciens et les astronomes ne donnent maintenant le nom de *télescopes* qu'à des instruments où les images des objets éloignés sont réfléchies par un miroir courbe (voyez plus haut la lettre LV, et plus loin la lettre LXXXVI). On n'est pas non plus dans l'usage d'employer le mot *tube* comme synonyme de *lunette astronomique.*

objets ; ce qui est une manière de parler fort équivoque, qui admet deux significations différentes. L'une est que, voyant par un télescope, nous jugeons les objets autant de fois plus proches de nous que le télescope grossit. Mais j'ai déjà eu l'honneur de faire remarquer à Votre Altesse que nous ne saurions connaître la distance des objets que par le jugement, et que ce jugement ne saurait avoir lieu que dans les objets peu éloignés : donc, lorsque les objets sont aussi éloignés que nous le supposons ici, un tel jugement sur les distances tromperait beaucoup. L'autre signification est plus conforme à la vérité quand on entend que les télescopes nous représentent les objets aussi grands que nous les verrions si nous en approchions davantage. Car Votre Altesse sait que, plus on s'approche d'un objet, plus l'angle sous lequel il paraît devient grand; et ainsi cette explication revient à celle que j'ai donnée au commencement. Cependant, lorsqu'on regarde des objets fort connus, comme des hommes dans un grand éloignement, et qu'on les voit par une lunette sous un angle beaucoup plus grand, alors on est porté à s'imaginer que ces hommes sont actuellement beaucoup plus proches, puisqu'on les verrait alors effectivement sous un angle d'autant plus grand. Mais lorsqu'il s'agit d'objets peu connus, comme du soleil et de la lune, alors aucune estime de distance ne saurait avoir lieu. Ici, le cas est tout à fait différent de celui dont j'ai eu l'honneur de parler à Votre Altesse, où un verre concave, dont se servent ceux qui ont la vue courte représente les images des objets à une fort petite distance : par exemple, le verre concave dont je me sers me représente les images de tous les objets éloignés à la distance de 4 pouces ; cependant je ne m'imagine point que le soleil, la lune et les étoiles soient si près de moi. Ainsi nous ne jugeons pas les objets là où se trouvent leurs images représentées par les verres; nous le croyons aussi peu que l'existence des objets dans nos yeux, quoique leurs images y soient dépeintes, et Votre Altesse se souviendra bien que le jugement sur la véritable distance des objets, de même que celui sur leur véritable grandeur, dépend de circonstances toutes particulières.

Le but principal des télescopes est donc de grossir ou de multiplier l'angle sous lequel les objets paraissent à la vue simple, et de là la division principale des télescopes se fait selon l'effet qu'ils procurent : de sorte qu'on dit que tel télescope grossit 5 fois, un autre 10 fois, un autre 20 ou 30 fois, et ainsi de suite. Là-dessus je remarque que les lunettes de poche grossissent rarement au delà de 10 fois ; mais les lunettes ordinaires dont on se sert pour examiner les objets terrestres fort éloignés, grossissent depuis 20 jus-

qu'à 30 fois, et leur longueur monte jusqu'à 6 pieds et au delà. Un effet pareil, quoique très-considérable par rapport aux objets terrestres, est encore peu de chose pour les corps célestes, qui demandent un effet beaucoup plus grand. Ainsi on a des lunettes astronomiques ou des tubes qui grossissent depuis 50 fois jusqu'à 200 fois; et il paraît difficile d'aller plus loin, puisque, selon la manière ordinaire de les construire, plus l'effet est grand, plus ces lunettes deviennent longues. Une telle lunette qui doit grossir 100 fois a déjà 30 pieds de longueur, et une de 100 pieds peut à peine grossir 200 fois. Par là Votre Altesse comprend que la difficulté de diriger et manier de telles machines met des obstacles insurmontables à pousser l'expérience plus loin. Le fameux Hevelius, astronome de Dantzick, se servait de tubes de 200 pieds; mais il faut que ces instruments aient été fort défectueux, puisque aujourd'hui on découvre les mêmes choses par de beaucoup plus courts.

Voilà donc en gros la description des télescopes et de leurs diverses espèces, qu'il est bon de bien remarquer avant que d'entrer dans le détail de leur construction, et de la manière dont on y joint deux ou plusieurs verres pour produire tous les différents effets.

2 février 1762.

LETTRE LXXII.

Sur les lunettes d'approche ou de poche.

On ne sait pas trop à qui nous sommes redevables de la découverte des télescopes, si c'est à un artisan hollandais, ou à un Italien nommé Porta [1]. Quoi qu'il en soit, il y a à peu près 150 ans qu'on a commencé à faire de petites lunettes de poche, composées de

1. Fracastor est peut-être le premier qui ait eu l'idée des lunettes astronomiques; ses *Homocentres* renferment deux passages où il est certainement question de la combinaison de deux lentilles et du grossissement des astres.

Un siècle plus tard, Jacques Métius, d'Alcmaer en Hollande, homme sans étude, qui s'amusait à faire des miroirs et des verres brûlants, s'avisa de regarder à travers deux verres dont l'un était convexe et l'autre concave : par un heureux hasard, ces deux verres se trouvèrent placés dans la disposition et à la distance nécessaires pour grossir les objets. Le télescope fut dès lors inventé et bientôt après construit.

Vers la même époque, les enfants d'un lunetier de Middelbourg, nommé Zacharie Jans, jouant avec des verres dans la boutique de leur père, tombèrent, dit-on, sur la combinaison favorable au grossissement. On cite encore un certain Jean Lapprey comme ayant des droits à la découverte du télescope. Voilà donc, avec Jacques Métius, trois prétendants.

Quant à Porta, ses titres à l'invention du télescope ne paraissent pas suffisamment établis; Montluca, qui les discute dans son *Histoire des Mathématiques*, pense avec Lahire que « l'instrument décrit par le physicien napolitain n'était qu'une combinaison de verres concave et convexe, par laquelle on pourrait éloigner

deux verres, dont l'un était convexe et l'autre concave. Il semble que le pur hasard est le seul à qui l'on soit redevable d'une découverte si utile. On a pu, sans aucun dessein, ou rapprocher ou éloigner deux verres jusqu'à ce que les objets aient paru distinctement.

Le verre convexe PAP (*fig.* 168) est dirigé vers l'objet, et c'est au verre concave QBQ qu'on applique l'œil; par cette raison, le verre PAP est nommé l'*objectif*, et le verre QBQ l'*oculaire*. Ces deux verres sont disposés sur le même axe AB, qui est perpendiculaire sur l'un et l'autre verre, et passe par le milieu. La distance de foyer du verre convexe PAP doit être plus grande que celle du verre concave, et les verres doivent être disposés en sorte que si AF est la distance du foyer de l'objectif PAP, le foyer de l'oculaire QBQ tombe dans le même point F, et ainsi l'intervalle entre les verres AB est la différence entre les distances de foyer de ces deux verres, AF étant la distance de foyer de l'objectif, et BF celle de l'oculaire. Quand les verres sont placés, ceux qui ont la vue bonne verront fort bien les objets éloignés, et ils leur paraîtront autant de fois plus grands que la ligne AF est plus grande que BF. Ainsi, prenant la distance de foyer de l'objectif de 6 pouces, et celle de l'oculaire de 1 pouce, les objets seront grossis 6 fois, ou paraîtront sous un angle 6 fois plus grand qu'à la vue simple; et dans ce cas l'intervalle entre les verres A, B sera de 5 pouces, ce qui est en même temps la longueur de la lunette. Votre Altesse sent bien, sans que je lui dise, que ces deux verres sont enchâssés dans un tuyau de la même longueur, quoique je ne l'aie pas exprimé dans la figure.

P Q A B F Q P

Fig. 168.

Après avoir exposé de quelle manière les deux verres doivent être joints ensemble pour qu'il en résulte un bon instrument, il y a deux choses que je dois faire remarquer à Votre Altesse : l'une, pourquoi ces verres nous représentent distinctement les objets; et l'autre, pourquoi ils paraissent autant de fois grossis que la ligne

ou rapprocher leur foyer commun de manière à faire apercevoir les objets distinctement à différentes distances et à différentes vues. »

Au commencement de l'année 1609, la nouvelle s'étant répandue en Italie qu'on avait présenté en Flandre à Maurice de Nassau un appareil construit de manière que les objets éloignés se voyaient comme s'ils étaient rapprochés; Galilée, qui en fut instruit, mais sans rien savoir sur la forme de l'appareil, se mit à réfléchir une nuit entière, et le lendemain le télescope qui a pris son nom était construit. Bientôt après il le perfectionna de manière à pouvoir obtenir un grossissement de mille fois en surface, tandis qu'il est prouvé par des documents authentiques que les instruments construits en Hollande pouvaient à peine grossir cinq fois le diamètre des objets.

AF surpasse la ligne BF. Par rapport à la première, il faut remarquer qu'une bonne vue voit mieux les objets lorsqu'ils sont si éloignés qu'on puisse regarder les rayons qui tombent dans l'œil comme parallèles entre eux.

Considérons donc un point V (*fig.* 169) dans l'objet vers lequel est dirigé la lunette; et puisqu'on le suppose fort éloigné, les rayons qui tombent sur l'objectif PQ, OA, PQ, seront presque parallèles entre eux; et ainsi l'objectif QAQ étant un verre convexe les réunira dans son foyer F; de sorte que ces rayons, étant convergents, ne conviendraient point à une bonne vue. Or, le verre concave en B ayant le pouvoir de rendre les rayons plus divergents, ou de diminuer leur convergence, rompra les rayons QR et QR, en sorte qu'ils deviendront parallèles entre eux; ou bien, au lieu de se réunir en F, ils prendront la route RS, RS, parallèle à l'axe BF; et ainsi une bonne vue, sur laquelle on se règle toujours dans la construction de ces instruments, en recevant ces rayons parallèles RS, BF, RS, verra distinctement l'objet. Or, la raison pourquoi les rayons RS, RS, deviennent précisément parallèles entre eux, est que le verre concave a son foyer, ou plutôt son point de dispersion, en F.

Fig. 169.

Votre Altesse n'a qu'à se souvenir que lorsque les rayons parallèles tombent sur un verre concave, ils deviennent par la réfraction divergents; en sorte qu'étant continués en arrière, ils se rendent dans le foyer. Cela posé, nous n'avons qu'à renverser le cas, et regarder les rayons SR, SR, comme incidents sur le verre concave : alors il est certain qu'ils prendront les routes RQ, RQ, qui, étant continuées en arrière, se rendent au point F, où est le foyer commun des verres convexe et concave. Maintenant, c'est une loi générale que, de quelque manière que les rayons soient rompus en allant d'un lieu à un autre, ils doivent toujours souffrir les mêmes réfractions, en retournant du dernier lieu au premier. Donc, si aux rayons incidents SR, SR, répondent les rayons réfractés, RQ, RQ; alors, réciproquement, si les rayons QR, QR, sont les incidents, les réfractés seront RS et RS.

La chose deviendra peut-être encore plus claire quand je dirai que les verres concaves ont le pouvoir de rendre parallèles ces rayons, qui, sans la réfraction, se rendraient dans leurs foyers; ou bien Votre Altesse n'a qu'à bien saisir les règles suivantes sur la réfraction tant des verres convexes que des concaves.

I. Par un verre convexe (*fig.* 170), les rayons parallèles deviennent convergents. Les convergents deviennent encore plus convergents (*fig.* 171). Or, les divergents deviennent moins divergents.

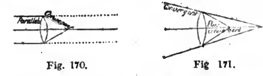


Fig. 170. Fig 171.

II. Par un verre concave, les rayons parallèles deviennent divergents (*fig.* 172). Les divergents deviennent encore plus divergents (*fig.* 173). Or, les convergents deviennent moins convergents.

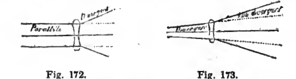


Fig. 172. Fig. 173.

Tout cela est fondé sur la nature de la réfraction et de la figure des verres, dont le détail demanderait des discussions trop longues; et outre cela les deux règles que je viens de rapporter en renferment l'essentiel. Par là il est donc suffisamment prouvé que lorsque le verre convexe et le verre concave sont joints de façon qu'ils acquièrent un foyer commun en F, les objets éloignés en seront représentés distinctement, puisque le parallélisme entre les rayons est rétabli par le verre concave après que le verre convexe les a rendus convergents; ou bien les objets fort éloignés, étant presque parallèles entre eux, deviennent convergents par les verres convexes; et ensuite le verre concave détruit cette convergence, et rend les rayons de nouveau parallèles entre eux.

6 février 1762.

LETTRE LXXIII.

Sur les grossissements des lunettes.

Il me reste encore à faire voir à Votre Altesse l'article principal sur les lunettes; c'est celui qui regarde leur effet en grossissant les objets. J'espère de le mettre dans un tel jour, que toute espèce de

doute sera dissipée ; pour cet effet, je renfermerai ce que j'ai à dire dans les propositions suivantes :

I. Soit E*e* (*fig.* 174) l'objet situé sur l'axe de la lunette qui traverse les deux verres perpendiculairement par leurs milieux. Or, il faut considérer cet objet E*e* comme infiniment éloigné.

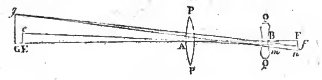


Fig. 174.

II. Donc, si l'œil placé en A regarde cet objet, il le verra sous l'angle EA*e*, nommé son angle visuel. Et ainsi il faut prouver qu'en regardant ce même objet par la lunette, il paraîtra sous un plus grand angle, et exactement autant de fois plus grand que la distance de foyer du verre objectif PAP surpasse celle de l'oculaire QBQ.

III. Comme l'effet de tous les verres consiste à représenter les objets dans un autre lieu et avec une certaine grandeur, nous n'avons qu'à examiner les images qui seront successivement représentées par les deux verres, dont la dernière est l'objet immédiat de la vue de celui qui regarde dans la lunette.

IV. Or, l'objet E*e* étant infiniment éloigné du verre convexe PAP, son image sera représentée derrière le verre en F*f*, de sorte que AF soit égal à la distance de foyer du verre ; et la grandeur de cette image F*f* est déterminée par la ligne droite *f*A*e*, tirée de l'extrémité de l'objet *e* par le milieu du verre A ; par où l'on voit que cette image est renversée, et autant de fois plus petite que l'objet que la distance AF est plus petite que la distance AE.

V. Maintenant cette image F*f* tient lieu de l'objet, par rapport au verre oculaire QBQ ; puisque les rayons qui tombent sur ce verre sont ceux mêmes qui voudraient presque former l'image F*f*, mais qui sont interceptés dans leur route par le verre concave QBQ ; de sorte que cette image n'est qu'imaginaire : l'effet en est cependant le même que si elle était réelle.

VI. Cette image F*f*, que nous regardons à présent comme un objet, se trouvant à la distance de foyer du verre QBQ, sera transportée presque à l'infini par la réfraction de ce verre. La figure précédente marque cette nouvelle image en G*g*, dont la distance AG doit être

conçue comme infinie, et les rayons réfractés pour la seconde fois par le verre QBQ tiendront la même route comme s'ils venaient effectivement de l'image G*g*.

VII. Cette seconde image G*g* étant donc l'objet de celui qui regarde par la lunette, on en doit considérer la grandeur. Pour cet effet, puisqu'elle naît de la première image F*f* par la réfraction du verre QBQ, suivant la règle générale, on n'a qu'à tirer par le milieu du verre B une ligne droite qui passe par *f* de la première image, et la ligne marquera en *g* l'extrémité de la seconde image.

VIII. Que le spectateur tienne à présent son œil en B; et puisque les rayons qu'il reçoit tiennent la même route, comme s'ils venaient effectivement de l'image G*g*, elle lui paraîtra sous l'angle GB*g*, qui est visiblement plus grand que l'angle EA*e*, sous lequel l'objet E*e* paraît à la vue simple.

IX. Pour mieux comparer ces deux angles, il est d'abord clair que l'angle EA*e* est égal à l'angle FA*f*, qui lui est opposé par la pointe; de la même manière l'angle GB*g* est égal à l'angle FB*f*, puisqu'ils sont aussi opposés par la pointe en B. Il s'agit donc de prouver que l'angle FB*f* surpasse la ligne FA*f* autant de fois que la ligne AF surpasse la ligne BF, dont celle-là AF est la distance de foyer de l'objectif, et celle-ci BF la distance de foyer de l'oculaire.

X. Pour prouver cela, il faut recourir à certaines propositions tirées de la géométrie sur la nature des secteurs. Votre Altesse se souviendra qu'un secteur est une partie d'un cercle renfermée entre deux rayons CM et CN, et un arc ou portion de la circonférence MN. Et ainsi, dans un secteur, il y a trois choses à considérer : 1° le rayon du cercle CM ou CN; 2° la quantité de l'arc MN; et 3° l'angle MCN.

XI. Considérons maintenant deux secteurs MCN (*fig.* 175) et *mcn*, dont les rayons CM et *cm* soient égaux entre eux; et il est prouvé, dans les éléments de géométrie, que les angles C et *c* tiennent entre eux le même rapport que les arcs MN et *mn*; ou bien l'angle C est autant de fois plus grand que l'angle *c*, que l'arc MN est plus grand que l'arc *mn*; mais, au lieu de cette façon de parler peu commode, on se sert de celle-ci : les angles C et *c* sont proportionnels aux arcs MN et *mn*, lorsque les rayons sont gaux.

Fig. 175.

XII. Considérons aussi deux secteurs MCN et

mcn (*fig.* 176), dont les angles C et *c* soient égaux entre eux, mais les rayons inégaux; et il est prouvé, dans la géométrie, que l'arc MN est autant de fois plus grand que l'arc *mn* que le rayon CM est plus grand que *cm*; ou bien on dit que les arcs sont proportionnels aux rayons, lorsque les angles sont égaux. La raison en est évidente, puisque chaque arc contient autant de degrés que son angle, et que les degrés d'un grand cercle sont plus grands que ceux d'un petit cercle autant de fois que le grand rayon surpasse le petit.

Fig. 176.

XIII. Considérons enfin aussi le cas où, dans les deux secteurs MCN et *mcn* (*fig.* 177), les arcs sont égaux entre eux, savoir, MN = *mn*, et les rayons CM et *cm* inégaux.

Dans ce cas l'angle C, qui répond au grand rayon CM, est plus petit; et l'angle *c*, qui répond au petit rayon *cm*, plus grand, et cela dans le même rapport que les rayons : ou bien l'angle *c* est autant de fois plus grand que l'angle C, que le rayon CM est plus grand que le rayon *cm* : ou bien, pour parler en géomètre, les angles sont réciproquement proportionnels aux rayons lorsque les arcs sont égaux.

Fig. 177.

XIV. Cette dernière considération me conduira à mon but en y ajoutant cette réflexion, que, lorsque les angles sont fort petits, comme cela arrive dans les lunettes de poche, alors les arcs MN et *mn* ne diffèrent pas sensiblement de leurs cordes, ou des lignes droites MN et *mn*.

XV. Cela remarqué, retournons à la *fig.* 174 : les triangles FA*f* et FB*f* peuvent être considérés comme des secteurs où l'arc F*f* est le même de part et d'autre. Par conséquent l'angle FB*f* surpasse autant de fois l'angle FA*f* que la distance AF surpasse la distance BF : ou bien l'objet E*e* paraîtra dans la lunette sous un angle autant de fois plus grand que la distance de foyer de l'objectif AF surpasse la distance de foyer de l'oculaire BF; ce qu'il fallait démontrer.

9 février 1762.

LETTRE LXXIV.

Sur les défauts de ces lunettes de poche, et sur le champ apparent.

Votre Altesse comprend aisément qu'on ne saurait prétendre de trop grands avantages de ces petites lunettes, et j'ai déjà remarqué qu'elles ne grossissent les objets que de dix fois. Si on voulait pousser leur force plus loin, non-seulement la longueur en deviendrait trop grande pour pouvoir les porter dans la poche, mais il y aurait encore d'autres défauts plus essentiels auxquels elles seraient sujettes; ce qui a obligé les artistes de renoncer tout à fait à cette espèce de lunettes dès qu'on demande de plus grands effets.

Le principal de ces défauts consiste dans la petitesse du champ apparent, ce qui me conduit à expliquer à Votre Altesse cet article important qui regarde toutes les lunettes. Quand on dirige un télescope ou une lunette vers le ciel, ou vers d'autres objets fort éloignés sur la terre, l'espace qu'on découvre paraît sous la figure d'un cercle, et on ne voit que les objets qui se trouvent dans cet espace; de sorte que, si l'on veut voir d'autres objets, il faut changer la position de l'instrument. Cet espace circulaire qui se présente aux spectateurs est nommé le *champ apparent*, ou simplement le champ de l'instrument : et Votre Altesse conviendra aisément que c'est un grand avantage lorsque ce champ est fort grand, et qu'un très-petit champ est au contraire un grand défaut dans ces sortes d'instruments. Considérons deux lunettes qu'on ait dirigées vers la lune, et que par l'une on n'en découvre que la moitié, pendant que par l'autre on la voit tout entière avec les étoiles voisines; le champ de celle-ci est donc beaucoup plus grand que celui de celle-là. Celle qui présente un plus grand champ nous dispense non-seulement de l'embarras de changer si souvent de position, mais on jouit aussi d'un avantage très-grand, qui est qu'en voyant en même temps plusieurs parties de l'objet on les peut comparer entre elles.

C'est donc une des plus grandes perfections d'une lunette ou d'un télescope lorsqu'il donne un plus grand champ; par cette raison, il est très-intéressant de mesurer le champ de tous ces instruments. Dans cette vue, on se règle sur le ciel, et on détermine l'espace circulaire qu'on voit à travers une lunette, en mesurant le diamètre en degrés et minutes. Ainsi, comme le diamètre apparent de la pleine lune est environ d'un demi-degré, si une lunette ou un télescope ne découvre que la lune, on dit que le diamètre de son champ

est un demi-degré; si l'on ne voyait à la fois que le quart de la lune, le diamètre du champ serait un quart de degré.

La mesure des angles nous fournit donc le moyen de mesurer le champ apparent, et la chose est d'ailleurs claire d'elle-même. Supposons dans la *fig.* 178, que par l'instrument AB on ne voie que l'espace POP et les objets qui y sont contenus; cet espace étant un cercle, son diamètre sera la ligne POP, dont le milieu O se trouve dans l'axe de l'instrument. Tirant donc des extrémités PP les lignes droites PC PC, l'angle PCP exprime le diamètre du champ apparent, et la moitié de cet angle OCP est nommée le demi-diamètre du champ apparent. De là Votre Altesse comprendra parfaitement ce qu'on doit entendre lorsqu'on dit que le diamètre du champ apparent d'un tel instrument est d'un degré, que celui d'un autre est de deux degrés, etc.; ou bien, en le marquant par minutes, de 30 minutes, qui font un demi-degré; ou de 15 minutes qui font un quart de degré.

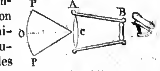


Fig. 178.

Mais, pour bien juger du mérite d'une lunette ou d'un télescope par rapport au champ apparent, il faut aussi avoir égard au grossissement de l'instrument, où cette maxime a généralement lieu, que plus un télescope ou une lunette grossit, plus le champ apparent doit nécessairement être petit : ce sont des bornes que la nature même prescrit. Concevons un semblable instrument qui grossit 100 fois; il est évident que le diamètre du champ ne saurait être de deux degrés; car puisque cet espace nous paraîtrait 100 fois plus grand, il ressemblerait à un espace de 200 degrés, et ainsi plus grand que le ciel tout entier, qui d'un bout à l'autre ne contient que 180 degrés, et dont nous ne saurions découvrir à la fois que la moitié tout au plus, ou bien un espace circulaire de 90 degrés en diamètre. Par là Votre Altesse voit qu'un télescope qui grossit cent fois ne nous saurait même découvrir un champ d'un degré, vu que ce degré multiplié 100 fois ferait plus que 90 degrés; et ainsi une semblable lunette qui grossit 100 fois serait excellente si le diamètre de son champ était un peu moindre d'un degré, et la nature même de l'instrument ne souffre pas un effet plus grand.

Mais une autre lunette ou un télescope qui ne grossirait que 10 fois, serait bien défectueux s'il ne découvrait qu'un champ d'un degré en diamètre, puisque ce champ, étant multiplié 10 fois, ne ressemblerait qu'à un espace de 10 degrés dans le ciel; ce qui serait bien peu de chose, et bornerait trop notre vue : nous aurions grande raison de rejeter tout à fait un tel instrument. Il sera donc

fort aisé, par rapport au champ apparent, de juger de l'excellence ou du défaut de ces sortes d'instruments, quand on a égard à leur effet. Ainsi, lorsqu'il ne grossit que 10 fois, on peut bien conjecturer qu'il découvre un champ de 9 degrés, puisque 9 degrés pris 10 fois font 90 degrés, que notre vue est capable d'embrasser; et si le diamètre de son champ n'était que 5 degrés ou encore plus petit, ce serait toujours un instrument fort défectueux. Or, j'aurai l'honneur de prouver à Votre Altesse que, si l'on voulait faire de cette espèce de lunettes dont j'ai donné la description, qui grossiraient plus de 10 fois, elles auraient ce défaut, et que leur champ apparent, multiplié par le grossissement, serait fort au-dessous de 90 degrés, et ne montrerait pas même la moitié. Mais pour de moindres effets ce défaut n'est pas si sensible; car si une telle lunette ne grossit que 5 fois, le diamètre de son champ est environ de 4 degrés, qui, étant grossi 5 fois, ressemble à un espace de 20 degrés, dont on veut bien être content : mais si l'on voulait grossir 25 fois, le diamètre du champ ne serait que d'un demi-degré, qui, étant pris 25 fois, ne donnerait que 12 degrés, ce qui serait trop peu. Par cette raison, quand on veut grossir beaucoup, il faut se servir d'autres arrangements de verres, que je prendrai la liberté d'expliquer dans la suite.

13 février 1762.

LETTRE LXXV.

Détermination du champ apparent pour les lunettes de poche.

Le jugement sur le champ apparent étant de la plus grande importance dans la construction des télescopes et lunettes, j'en vais faire l'application aux petites lunettes, sur lesquelles j'ai eu déjà l'honneur d'entretenir Votre Altesse.

Dans la *fig.* 174, le verre PAP est l'objectif, QBQ l'oculaire, et la droite EF l'axe de la lunette sur lequel, à une distance très-grande, se trouve l'objet E*e*, vu par l'instrument sous l'angle EA*e*, qui représente le demi-diamètre du champ apparent, puisqu'il s'étend autant de l'autre côté en bas. Le point E est donc le centre de l'espace vu par la lunette, dont le rayon EA, puisqu'il traverse perpendiculairement les deux verres, ne souffre aucune réfraction; et ainsi, pour que ce rayon entre dans l'œil, il faut fixer l'œil quelque part sur l'axe de la lunette BF derrière l'oculaire, en sorte que le centre de la prunelle se trouve dans la ligne BF, ce qui est

une règle générale pour toutes les lunettes. Considérons à présent l'extrémité visible de l'objet *e*, dont les rayons remplissent exactement toute l'ouverture du verre objectif PAP; mais il suffira de n'en considérer que le rayon EA qui passe par le milieu de l'objectif A, puisque les autres rayons l'entourent et ne font presque que renforcer ce rayon : de sorte que, si ce rayon entre dans l'œil, les autres, ou au moins une bonne partie, y entrent aussi; et si ce rayon n'entre point dans l'œil, quoique peut-être quelques-uns des autres y entrent, ils sont trop faibles pour exciter dans l'œil une impression assez vive. Et ainsi nous pourrons fixer cette règle, que l'extrémité *e* de l'objet n'est vue qu'en tant que le rayon *e*A, après avoir passé les deux verres, entre dans l'œil.

Tout bien considéré, il faut donc examiner avec soin la route de ce rayon *e*A. Or, premièrement, puisque ce rayon passe par le milieu de l'objectif A, il n'y souffre aucune réfraction, conformément à la règle établie au commencement, que les rayons qui passent par le milieu d'un verre quelconque ne sont pas détournés de leur route, ou ne souffrent point de réfraction. Donc ce rayon *e*A, après avoir passé par l'objectif, continuerait la même route pour se réunir avec les autres rayons sortis du même point *e*, au point *f* de l'image représentée par l'objectif en F*f*, le point *f* étant l'image du point *e* de l'objet : mais le rayon, rencontrant en *m* le verre concave hors de son milieu, sera détourné de cette route; et au lieu d'aboutir en *f*, il prendra sa route en *mn*, plus divergent de l'axe BF, comme c'est l'effet naturel des verres concaves de rendre les rayons toujours plus divergents. Pour connaître cette nouvelle route *mn*, que Votre Altesse veuille bien se souvenir que le verre objectif représente l'objet E*e* dans une situation renversée en F*f*, de sorte que AF est égal à la distance du foyer de ce verre, qui transporte l'objet E*e* en F*f*. Alors cette image F*f* tient lieu de l'objet à l'égard du verre oculaire QBQ, qui à son tour le transporte de nouveau en G*g*, dont la distance BG doit être aussi grande que celle de l'objet même; et, pour cet effet, il est nécessaire de placer l'oculaire de sorte que l'intervalle BF soit égal à sa distance du foyer.

Pour la grandeur de ces images, la première F*f* est déterminée par la droite *e*A*f*, tirée de *e* par le milieu A du premier verre; et l'autre G*g*, par la droite *f*B*g*, tirée du point *f* par le milieu B du second verre. Cela marqué, le rayon A*m* dirigé vers le point *f* est réfracté, et sort en *mn*; et cette ligne *mn* étant continuée en arrière, passe par le point *g*, puisque ce rayon *mn* produit dans l'œil le même effet que s'il venait effectivement du point *g*. Maintenant, comme cette ligne *mn* s'éloigne de plus en plus de l'axe BF, où le

centre de la pupille se trouve, le rayon *mn* ne saurait entrer dans l'œil qu'en tant que l'ouverture de la pupille s'étend jusque-là : et si l'ouverture de la pupille était réduite à rien, le rayon *mn* serait exclu de l'œil, et ainsi le point *e* de l'objet ne saurait être vu de l'œil, ni même aucun autre point de l'objet hors de l'axe AE : il n'y aurait donc point de champ apparent, et l'œil ne verrait par cette lunette que le seul point E de l'objet qui se trouve dans son axe. Par là il est clair que cette espèce de lunette ne découvre un champ qu'autant que la pupille est ouverte ; en sorte que plus l'ouverture de la pupille est grande ou petite, plus aussi le champ apparent sera grand ou petit. Dans ce cas, le point *e* sera donc encore visible à l'œil, si le petit intervalle B*m* n'excède point la demi-largeur de la pupille ou bien son demi-diamètre, afin que le rayon *mn* y puisse entrer ; mais aussi dans ce cas il faut approcher l'œil du verre oculaire autant qu'on le peut ; car, puisque le rayon *mn* s'éloigne de l'axe FB, il échapperait à la pupille dans un plus grand éloignement.

Maintenant il est aisé de déterminer le champ apparent que ces lunettes nous découvrent sur le verre oculaire : on n'a qu'à prendre l'intervalle B*m* égal à la demi-largeur de la pupille, et tirer par ce point *m* et le milieu du verre objectif A la ligne droite *m*A*e*, alors cette ligne marquera sur l'objet l'extrémité *e*, qui sera encore visible par la lunette, et l'angle EA*e* donnera le demi-diamètre du champ apparent. Par là Votre Altesse jugera aisément que, dès que la distance des verres AB surpasse de quelques pouces, l'angle BA*m* doit devenir très-petit, puisque la ligne ou distance B*m* n'est qu'environ la vingtième partie d'un pouce. Or, si l'on voulait grossir beaucoup, il faudrait que la distance des verres devînt très-considérable, et de là résulterait que le champ apparent deviendrait infiniment petit. C'est donc la nature des yeux qui met des bornes à cette espèce de lunettes, et qui nous oblige de recourir à d'autres espèces dès qu'on souhaite des effets considérables.

16 février 1762.

LETTRE LXXVI.

Sur les lunettes astronomiques, et de leurs grossissements.

En passant à la seconde espèce de lunettes, qui sont ce qu'on appelle *lunettes astronomiques*, quelquefois *tubes*, je remarque que ces instruments ne sont composés que de deux verres, comme ceux de la première espèce ; mais ici, au lieu de l'oculaire concave, on

se sert d'un convexe. Je commencerai donc à donner à Votre Altesse une idée de la construction de ces lunettes astronomiques.

L'objectif PAP (*fig.* 179) est, comme dans les autres, un verre



Fig. 179.

convexe dont le foyer étant en F, on fixe sur le même axe un plus petit verre convexe QQ, de sorte que son foyer tombe dans le même point F. Alors, tenant l'œil en O, de sorte que la distance BO soit à peu près égale à la distance de foyer de l'oculaire QQ, on verra les objets distinctement, et grossis autant de fois que la distance de foyer de l'objectif AF surpassera celle de l'oculaire BF : mais ce qu'il y a à remarquer, c'est que tous les objets paraissent dans une situation renversée, de sorte que si l'on dirige ces tubes vers des maisons, on voit les toits en bas et le pavé en haut. Comme cette circonstance n'est point agréable pour les objets terrestres, que nous ne saurions pas voir renversés, l'usage de ces instruments est borné aux objets célestes, qu'il nous est fort indifférent de voir dans un sens ou dans un autre ; il suffit à l'astronome de savoir que ce qu'il voit en haut se trouve réellement en bas, et réciproquement. Cependant rien n'empêche qu'on ne se serve aussi de ces lunettes pour les objets terrestres ; et on s'accoutume bientôt à voir les objets renversés, pourvu qu'ils paraissent distinctement et fort grossis.

Après cette description, je dois prouver trois choses : la première, que par cet arrangement des verres les objets doivent paraître distinctement ; la seconde, qu'ils doivent paraître grossis autant de fois que la distance de foyer de l'objectif surpasse celle de l'oculaire, et cela dans une situation renversée ; la troisième chose à prouver est qu'on ne doit pas appliquer l'œil immédiatement contre le verre oculaire, comme dans la première espèce ; mais qu'il l'en faut éloigner à peu près à la distance de foyer de l'oculaire.

1. Pour le premier article, la chose se prouve de la même manière que dans le premier cas : les rayons eP, eP, qui sont parallèles entre eux avant que d'entrer dans le verre objectif, se réunissent par la réfraction dans le foyer de ce verre en F, et ainsi il

faut que le verre oculaire rétablisse le parallélisme entre ces rayons, attendu que la vision distincte exige que les rayons partis de chaque point soient à peu près parallèles entre eux lorsqu'ils entrent dans l'œil. Or le verre oculaire, ayant son foyer en F, est placé de sorte qu'il rend les rayons FM, FM, par la réfraction, parallèles entre eux ; et conséquemment l'œil recevra les rayons No, No, parallèles entre eux.

2. Pour le second article, considérons l'objet en Ee (*fig.* 180), mais en sorte que la distance EA soit presque infinie. L'image de cet objet représentée par le verre objectif sera donc Ff située à la distance de foyer de ce verre AF, et déterminée par la droite eAf tirée par le milieu du verre. Cette image Ff, qui est renversée, tient lieu d'objet par rapport au verre oculaire ; et puisqu'elle se trouve dans son foyer, la seconde image sera de nouveau éloignée à l'infini par la réfraction de ce verre, et tombera par exemple en Gg, la distance AG devant être conçue comme infinie, de même que AE. Or, pour déterminer la grandeur de cette image, on n'a qu'à tirer, par le milieu B du verre et l'extrémité f, la droite Bfg. Maintenant cette seconde image Gg étant l'objet immédiat de la vision de celui qui regarde dans la lunette, il est d'abord clair que cette représentation est renversée ; et, puisqu'elle est infiniment éloignée, elle paraîtra sous un angle GBg. Mais l'objet lui-même Ee paraîtra à la vue simple sous l'angle EAe ; où Votre Altesse comprend, sans que je l'avertisse, qu'il est indifférent de prendre les points A et B pour avoir les angles visuels EAe et GBg, à cause de l'éloignement infini de l'objet. A présent Votre Altesse voit ici, comme dans le cas précédent, que les triangles FAf et FBf peuvent être regardés comme des secteurs circulaires, la ligne Ff étant l'arc de l'un et l'autre, puisque les angles mêmes sont si petits, qu'on ne se trompe pas sensiblement en prenant la corde pour les arcs. Donc, puisque les rayons de ces deux secteurs sont les lignes AE et BF, les arcs étant égaux entre eux, il s'ensuit, de ce que j'ai prouvé ci-dessus fort amplement, que les angles FAf (ou bien EAe) et FBf (ou bien GBg) tiennent entre eux le même rapport que les rayons BF et AF. Donc l'angle GBg, sous lequel on voit l'objet par la lunette, est autant de fois plus grand que l'angle EAe, sous lequel on voit l'objet à la vue simple autant de fois que la ligne AF surpasse la ligne BF ; et c'est la dé-

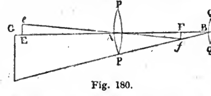


Fig. 180.

monstration de mon second article. Je suis obligé de remettre celle du troisième à l'ordinaire prochain.

20 février 1762.

LETTRE LXXVII.

Sur le champ apparent et le lieu de l'œil.

Pour m'acquitter, par rapport au troisième article, sur les lunettes astronomiques, qui regarde le lieu de l'œil derrière la lunette, je remarque que cet article est le plus étroitement lié avec le champ apparent, et que c'est précisément le champ qui nous oblige de tenir l'œil dans le lieu marqué ; de sorte que, si on l'approchait ou l'éloignait davantage, on ne découvrirait plus un si grand champ.

L'étendue du champ étant un article si essentiel et si important pour toutes les lunettes, il est également important de bien fixer l'endroit de l'œil d'où il découvre le plus grand champ. Si on appliquait l'œil immédiatement au verre oculaire, on aurait à peu près le même champ qu'on a dans les lorgnettes, et qui devient d'une petitesse insupportable dès que le grossissement est considérable. C'est donc un grand avantage pour les lunettes astronomiques qu'en éloignant l'œil du verre oculaire le champ apparent augmente jusqu'à un certain point; et c'est précisément la raison qui rend ces lunettes susceptibles de plus grands grossissements, pendant que celles de la première espèce ont été très-bornées à cet égard. Votre Altesse a déjà appris qu'avec ces lunettes on pousse le grossissement au delà de 200 fois; ce qui leur donne une préférence infinie sur celles de la première espèce, qui à peine sauraient grossir 10 fois; et le petit inconvénient de la situation renversée doit s'évanouir tout à fait, par rapport à ce grand avantage.

Je tâcherai donc d'expliquer à Votre Altesse cet important article aussi clairement qu'il me sera possible, et mes éclaircissements précédents sur le champ apparent ne manqueront pas de m'être d'un très-grand secours.

1. L'objet Ee (*fig.* 181) étant infiniment éloigné, soit *e* son extrémité encore visible par la lunette, dont les verres sont PAP et QBQ, disposés sur le commun axe EABO, et il s'agit de bien considérer la route que tiendra le seul rayon qui passe

Fig. 181.

de l'extrémité de l'objet *e* par le milieu A du verre objectif. Votre Altesse se souviendra encore que les autres rayons qui tombent du point *e* sur le verre objectif ne font qu'accompagner et renforcer le rayon proposé *e*A, qui est le principal par rapport à la vision.

2. Or, ce rayon *e*A passant par le milieu du verre PP, ne souffrira aucune inflexion, mais continuera sa route en ligne droite A*f*M, et, passant par l'extrémité de l'image F*f*, atteindra l'oculaire au point M, où il est bon d'observer que si la grandeur du verre oculaire ne s'étendait point jusqu'à M, ce rayon ne parviendrait jamais à l'œil, et le point *e* serait invisible; c'est-à-dire, il faudrait prendre l'extrémité *e* plus proche de l'axe, pour que le rayon A*f*M rencontrât encore le verre oculaire.

3. Maintenant ce rayon AM sera rompu ou réfracté par le verre oculaire, d'une certaine manière qu'il n'est pas difficile de découvrir. Nous n'avons qu'à considérer la seconde image G*g* : quoiqu'elle soit éloignée à l'infini, il suffit de savoir que la droite B*f* prolongée passe par l'extrémité *g* de la seconde image G*g*, qui est l'objet immédiat de la vue. Cela remarqué, il faut que le rayon rompu prenne une telle route NO, qui, étant prolongée, passe par le point *g*.

4. Puisque donc les deux lignes ON et B*f* concourent à l'infini en *g*, elles seront parallèles entre elles; d'où nous tirons cette méthode plus aisée pour déterminer la position du rayon rompu NO; on n'a qu'à le tirer parallèle à la ligne B*f*.

5. De là il est très-évident que le rayon NO concourt quelque part avec l'axe de la lunette en O; et puisque ordinairement lorsque le grossissement est grand, le point F est beaucoup plus proche du verre QQ que du verre PP, l'intervalle BM sera tant soit peu plus grand que l'image F*f*; et puisque la ligne NO est parallèle à *f*B, la ligne BO sera presque égale à BF, c'est-à-dire, à la distance de foyer du verre oculaire.

6. Donc, si l'on tient l'œil en O, il recevra non-seulement les rayons qui viennent du milieu de l'objet E, mais aussi ceux qui viennent de l'extrémité *e*, et par conséquent aussi ceux qui partent de tous les points de l'objet; l'œil recevrait même à la fois les rayons BO et NO, quand même la pupille serait infiniment rétrécie. Dans ce cas donc, le champ apparent ne dépend point de l'ouverture de la pupille, pourvu que l'œil soit placé en O; mais dès que l'œil s'en éloigne, il doit perdre considérablement dans le champ apparent.

7. Si le point M n'était pas à l'extrémité du verre oculaire, il transmettrait des rayons encore plus éloignés de l'axe, et ainsi la

lunette découvrirait un plus grand champ. Donc, pour déterminer le vrai champ apparent que la lunette est capable de découvrir, qu'on tire du milieu A du verre objectif, vers l'extrémité du verre oculaire M, la ligne droite AM, qui, étant continuée à l'objet, y marquera en *e* l'extrémité visible; et conséquemment l'angle EA*e*, ou bien BAM, donne le demi-diamètre du champ apparent, qui est par conséquent d'autant plus grand que l'étendue du verre oculaire est plus grande.

8. Donc, comme dans la première espèce le champ apparent dépendait uniquement de l'ouverture de la pupille : ainsi dans ce cas il dépend uniquement de l'ouverture du verre oculaire; ce qui met une différence très-essentielle entre ces deux espèces, à l'avantage de la dernière. La même figure, que j'ai employée à la démonstration de cet article sur le lieu de l'œil et le champ apparent, est aussi très-propre à éclaircir davantage les articles précédents.

Quand Votre Altesse veut bien considérer que le verre objectif transporte l'objet E*e* en F*f*, et que le verre oculaire le transporte de F*f* en G*g*, cette image G*g*, étant fort éloignée de l'objet immédiat de la vue, doit être vue distinctement, puisqu'un bon œil demande une grande distance pour voir distinctement; ce qui était le premier article.

Pour le second article, il est d'abord évident que, puisqu'au lieu du vrai objet E*e*, on voit par la lunette l'image G*g*, elle sera renversée. Ensuite, cette image est vue de l'œil placé en O sous l'angle GO*g* ou BON, pendant que l'objet même E*e* paraîtra à la vue simple sous l'angle EA*e*; donc, la lunette grossit autant de fois que l'angle BON est plus grand que l'angle EA*e*. Or, puisque la ligne NO est parallèle à B*f*, l'angle BON est égal à l'angle FB*f*, et l'angle EA*e* est égal à son opposé par la pointe FA*f*; d'où le grossissement doit être jugé, du rapport entre les angles FB*f* et FA*f*, dont celui-là est autant de fois plus grand que celui-ci que la ligne AF, ou la distance du foyer de l'objectif, surpasse la ligne BF, ou la distance du foyer de l'oculaire. Ce qui est une preuve suffisante que les éléments de géométrie peuvent être employés à des recherches d'une nature tout à fait différente, ce que Votre Altesse reconnaîtra avec bien de la satisfaction.

25 février 1762.

LETTRE LXXVIII.

Détermination du grossissement d'une lunette astronomique, et construction de telles lunettes qui grossissent les objets un nombre donné de fois.

Maintenant Votre Altesse jugera aisément non-seulement combien de fois grossit une lunette proposée, mais aussi comment il faut construire des lunettes qui grossissent autant de fois qu'on voudra. Dans le premier cas, on n'a qu'à mesurer la distance du foyer tant du verre objectif que celle de l'oculaire, pour voir combien de fois celle-là surpasse celle-ci, ce qui se fait par la division; et le quotient marquera le grossissement.

Ainsi, ayant une lunette dont la distance de foyer de l'objectif est de deux pieds, et celle de l'oculaire d'un pouce, il faut voir combien de fois un pouce est contenu en deux pieds. Ici, il faut savoir que 1 pied contient 12 pouces, et qu'ainsi 2 pieds font 24 pouces, qu'il faut diviser par 1 pouce. Or, quelque nombre qu'on divise par 1, le quotient est toujours égal au nombre même; ou bien, si l'on demande combien 1 pouce est contenu en 24 pouces, on répond sans balancer : 24 fois; par conséquent la lunette en question grossit 24 fois : c'est-à-dire, elle nous représente les objets éloignés de la même manière que s'ils étaient 24 fois plus grands qu'ils ne le sont; ou bien on les verra par la lunette sous un angle 24 fois plus grand qu'à la vue simple.

Considérons une autre lunette astronomique, dont la distance de foyer du verre objectif est de 32 pieds; et celle de l'oculaire, de 3 pouces; et Votre Altesse verra que ces deux verres doivent être éloignés l'un de l'autre de 32 pieds et 3 pouces, attendu que dans toutes les lunettes astronomiques la distance entre les verres est égale à la somme des deux distances de foyer des verres, comme il est clair par ma lettre précédente.

A présent, pour trouver combien de fois cette lunette grossit, il faut diviser 32 pieds par 3 pouces, et pour cet effet convertir ces 32 pieds en pouces en les multipliant par 12, ce qui donnera 384 pouces; ensuite on divisera ces 384 pouces par 3, et le quotient 128 marque que la lunette proposée grossit 128 fois, ce qui est sans doute un grossissement très-considérable.

Réciproquement donc, pour construire une lunette qui grossisse un nombre donné de fois, par exemple 100 fois, il faut employer deux verres convexes, dont la distance de foyer de l'un soit 100 fois plus grande que celle de l'autre; alors celui-là donnera l'ob-

jectif, et celui-ci l'oculaire. Ensuite il faut disposer ces deux verres sur un même axe, en sorte que leur distance soit égale à la somme des deux distances de foyer; ou bien on les fixe dans un tuyau de cette longueur, et alors l'œil, étant derrière l'oculaire à la distance de son foyer, verra les objets 100 fois plus grands.

On pourra donc remplir cette condition d'une infinité de manières différentes, en prenant un verre oculaire à volonté, et le joignant avec un objectif dont la distance de foyer est 100 fois plus grande. Ainsi, prenant l'oculaire d'un pouce de foyer, l'objectif doit être de 100 pouces de foyer, et la distance des verres 101 pouces. Or, en prenant l'oculaire de 2 pouces de foyer, l'objectif doit avoir son foyer à la distance de 200 pouces, et la distance entre les verres sera de 202 pouces. Si l'on prenait l'oculaire de 3 pouces de foyer, la distance de foyer de l'objectif devrait être de 300 pouces, et la distance entre les verres de 303 pouces. De même, si l'on voulait prendre l'oculaire de 4 pouces de foyer, l'objectif devrait avoir sa distance de foyer de 400 pouces, et la distance entre les verres serait de 404 pouces, et ainsi de suite, en donnant à la lunette une longueur de plus en plus grande. Mais si au contraire on ne donnait à l'oculaire qu'un demi-pouce de foyer, l'objectif devrait avoir 100 demi-pouces, c'est-à-dire 50 pouces de foyer, et la distanee entre les verres ne serait que 50 pouces et demi, ce qui fait un peu plus que 4 pieds. Et si l'on prenait l'oculaire d'un quart de pouce, l'objectif n'aurait que 100 quarts ou 25 pouces; et la distance entre les deux verres, 25 pouces et un quart, ce qui ferait un peu plus que 2 pieds.

Voilà donc plusieurs manières de produire le même grossissement de 100 fois; et si nous avions la liberté d'en choisir, Votre Altesse n'hésiterait pas certainement de donner la préférence à la dernière, comme la plus courte, où la lunette ne devient que de 2 pieds environ, et est sans doute plus aisée à manier qu'une lunette beaucoup plus longue.

Aussi personne ne balancerait à préférer les lunettes les plus courtes, si toutes les autres circonstances étaient les mêmes, et que toutes ces différentes sortes représentassent les objets avec le même degré de perfection. Mais, quoique toutes produisent le même grossissement, la représentation même n'est pas également nette et claire: la dernière de 2 pieds grossit bien 100 fois comme les autres; mais, en regardant par une telle lunette, les objets paraîtront non-seulement obscurs, mais aussi mal terminés et confus, ce qui est sans doute un très-grand défaut. L'avant-dernière lunette, dont l'objectif est de 50 pouces de foyer, est moins sujette

à ces défauts, mais pourtant l'obscurité et la confusion sont encore insupportables : or, ces défauts diminuent à mesure qu'on se sert de plus grands verres objectifs; et ils seront déjà beaucoup moindres lorsqu'on emploiera un verre objectif de 300 pouces, avec un oculaire de 3 pouces de foyer. Ensuite, en augmentant davantage ces mesures, la représentation devient encore plus nette et plus claire; de sorte qu'à cet égard les longues lunettes sont préférables aux courtes, quoique de l'autre côté elles soient moins commodes.

Cette circonstance m'ouvre une nouvelle carrière, où j'aurai l'honneur d'expliquer à Votre Altesse encore deux articles très-essentiels dans la théorie des lunettes : l'un regarde la clarté ou le degré de lumière dont les objets sont vus, et l'autre la netteté d'expression dont les objets sont représentés. Sans ces deux grandes qualités, tout grossissement, quelque grand qu'il soit, ne nous apporte aucun avantage dans la contemplation des objets.

27 février 1762.

LETTRE LXXIX.

Du degré de clarté.

Pour juger du degré de clarté dont les lunettes nous représentent les objets, je me servirai des mêmes principes que j'ai eu l'honneur d'expliquer à Votre Altesse lorsque j'ai traité le même sujet par rapport aux microscopes.

Or, je dois d'abord avertir qu'il ne s'agit point dans cette recherche du degré de lumière qui réside dans les objets mêmes, et qui peut être très-différent, tant dans les différents corps, en ce qu'ils sont par leur nature plus ou moins clairs, que dans un même corps en différentes circonstances. Les mêmes corps, lorsqu'ils sont éclairés du soleil, ont sans doute plus de lumière que lorsque le ciel est couvert, et de nuit leur lumière est tout à fait éteinte; mais aussi différents corps éclairés par la même lumière peuvent différer beaucoup en clarté, selon que leurs couleurs sont plus ou moins vives. Il n'est pas ici question de cette lumière ou de cette clarté qui se trouve dans les objets mêmes; mais, soit qu'elle soit forte ou faible, on dit qu'une lunette représente les objets en pleine clarté lorsque nous les voyons par la lunette aussi clairement que par la vue simple : de sorte que, si l'objet est obscur de lui-même, on ne saurait prétendre que la lunette nous le représente avec éclat.

Ainsi, par rapport à la clarté, une lunette est parfaite lorsqu'elle nous représente les objets avec autant de clarté que si nous les regardions à la vue simple. Or cela arrive comme dans les microscopes, lorsque toute l'ouverture de la pupille est remplie par les rayons qui viennent de chaque point de l'objet, après avoir été transmis par la lunette. Tant qu'une lunette fournit assez de rayons pour remplir toute l'ouverture de la pupille, on ne saurait désirer plus de clarté; et quand même la lunette en fournirait en plus grande abondance, cela serait inutile, puisqu'il n'en entrerait également point davantage dans l'œil.

Il faut donc ici principalement avoir égard à l'ouverture de la pupille, laquelle étant variable, on ne saurait rien fixer là-dessus, si l'on ne se réglait sur une certaine ouverture; or on peut bien se contenter, lorsque la pupille, dans l'état de la plus grande contraction, est remplie de rayons; et, par cette raison, on suppose communément le diamètre de la pupille d'une ligne, dont 12 font 1 pouce; souvent on se contente même de la moitié, en ne donnant à la pupille que la moitié d'une ligne, et quelquefois encore moins.

Si Votre Altesse considère que la lumière du soleil surpasse 300,000 fois celle de la lune, qui est pourtant assez considérable, elle jugera bien qu'une petite diminution dans la clarté n'est pas d'une grande conséquence dans la contemplation des objets. Cela marqué, il ne me reste qu'à examiner les rayons que la lunette transmet dans l'œil, pour les comparer avec la pupille; et il suffira de considérer les rayons qui viennent d'un seul point de l'objet, celui par exemple qui se trouve dans l'axe de la lunette.

I. L'objet étant éloigné à l'infini, les rayons qui en tombent sur la surface du verre objectif PAP (*fig.* 182) sont parallèles entre eux; donc, tous les rayons qui viennent du centre de l'objet seront contenus entre les lignes LP, LP, parallèles à l'axe EA; tous ces rayons ensemble sont nommés le faisceau des rayons qui tombent sur le verre objectif; et l'épaisseur de ce faisceau est égale à l'étendue ou à l'ouverture du verre objectif, dont le diamètre est PAP.

Fig. 182.

II. Ce faisceau de rayons se change par la réfraction du verre objectif, dans une figure conique ou pointue PFP, et, après s'être croisé dans le foyer F, forme un nouveau cône *mFm*, terminé par le verre oculaire, où il est évident que la base de ce cône *mm* est

autant de fois plus petite que la largeur du faisceau PP, que la distance FB est plus courte que la distance AF.

III. Maintenant ces rayons F*m*, F*m*, en passant par le verre oculaire QBQ, redeviennent de nouveau parallèles entre eux, et forment le faisceau de rayons *no*, *no*, qui entrent dans l'œil, et y dépeignent l'image du point de l'objet d'où ils sont partis originairement.

IV. Tout revient à présent à l'épaisseur de ce faisceau de rayons *no*, *no*, qui entre dans l'œil; et si cette épaisseur *nn* ou *oo* est égale ou plus grande que l'ouverture de la pupille, la pupille en sera remplie, et l'œil jouira de toute la clarté possible, ou bien l'objet paraîtra avec autant de clarté que si on le regardait sans d'autre secours que celui des yeux.

V. Mais si l'épaisseur de ce faisceau *nn* ou *oo* était beaucoup plus petite que la pupille, il est évident que la représentation deviendrait d'autant plus obscure; ce qui serait un grand défaut de la lunette. Donc, pour y remédier, il faut que l'épaisseur de ce faisceau ne soit pas plus petite que la moitié d'une ligne; et il serait bon si elle égalait une ligne entière, puisque c'est l'ouverture ordinaire de la pupille.

VI. Or il est clair que l'épaisseur de ce faisceau tient un certain rapport à celle du premier faisceau, qu'il n'est pas difficile de déterminer : on n'a qu'à voir combien de fois l'intervalle *nn* ou *mm* est plus petit que l'intervalle PP, qui est l'ouverture du verre objectif. Or l'intervalle PP tient à *mm* la même proportion que la distance AF tient à BF, d'où dépend le grossissement; et ainsi le grossissement même nous montre combien de fois le faisceau LP, LP, est plus large que le faisceau *no*, *no*, qui entre dans l'œil.

VII. Donc, puisque la largeur *nn* ou *oo* doit être une ligne, ou au moins une demi-ligne, l'ouverture du verre objectif PP doit au moins contenir autant de demi-lignes que le grossissement indique; ainsi, quand la lunette doit grossir 100 fois, l'ouverture de son verre objectif doit avoir pour diamètre 100 demi-lignes, ou bien 50 lignes, qui font 4 pouces et 2 lignes (le pouce étant divisé en 12 lignes).

VIII. Par là Votre Altesse entend que, pour éviter l'obscurité, il faut que l'ouverture de l'objectif soit d'une certaine grandeur, qui doit être d'autant plus grande que le grossissement est grand. Et conséquemment, à moins que le verre objectif qu'on veut employer ne soit susceptible d'une si grande ouverture, la lunette sera défectueuse du côté de la clarté de la représentation.

Maintenant il est assez clair que pour de grands grossissements

on ne saurait employer de petits objectifs, ou dont la distance de foyer est trop petite, puisqu'un verre formé par des arcs de petits cercles ne saurait avoir une grande ouverture.

1er mars 1762.

LETTRE LXXX.

Sur l'ouverture des objectifs.

Votre Altesse vient de voir que le grossissement détermine la grandeur ou l'étendue du verre objectif, afin que les objets paraissent avec un degré suffisant de clarté. Cette détermination ne regarde que la grandeur ou l'ouverture de l'objectif, cependant sa distance de foyer s'en ressent aussi; de sorte que plus le verre doit être grand, plus aussi sa distance de foyer doit être grande.

La raison en est évidente, puisque, pour former un verre dont la distance de foyer est, par exemple, de deux pouces, ses deux faces doivent être des arcs de cercle dont le rayon est aussi environ de deux pouces : j'ai donc représenté (*fig.* 183) deux tels verres P et Q, où les arcs sont décrits avec un rayon de deux pouces. Le verre P, comme il est plus épais, est bien plus grand que l'autre Q; mais j'expliquerai dans la suite que les verres épais sont assujettis à d'autres inconvénients, qui sont même si grands qu'il faut renoncer entièrement à leur usage. Le verre Q sera donc plus propre pour la pratique, puisqu'il est composé de moindres arcs du même cercle; et comme sa distance de foyer est de 2 pouces, son étendue ou ouverture *mn* ne saurait à peine surpasser un pouce : d'où l'on peut établir cette règle générale, que toujours la distance de foyer d'un verre doit être plus que deux fois plus grande que le diamètre de son étendue *mn*, ou bien l'ouverture d'un verre doit nécessairement être plus petite que la moitié de sa distance de foyer.

P Q m n

Fig. 183.

Donc, ayant remarqué que, pour grossir 100 fois, l'ouverture de l'objectif doit surpasser 4 pouces, il s'ensuit que la distance de foyer doit surpasser 8 pouces; et je ferai voir bientôt que le double ne suffit pas, et qu'il faut même augmenter la distance de foyer de ce verre au delà de 200 pouces. La netteté d'expression de l'image demande cette grande augmentation, dont je parlerai dans la suite : ici je me contente de remarquer qu'à l'égard de la figure

géométrique du verre, l'ouverture ne saurait être plus grande que la moitié de sa distance de foyer.

Je m'étendrai donc ici un peu plus en détail sur l'ouverture de l'objectif que chaque grossissement exige ; et je remarque d'abord que quoiqu'un degré suffisant de clarté demande une ouverture de 4 pouces lorsque la lunette doit grossir 100 fois, on se contente, dans les lunettes astronomiques, d'une de 3 pouces, puisque la diminution de clarté en devient peu sensible : de là les artistes ont établi cette règle, que, pour grossir 100 fois, il faut que l'ouverture de l'objectif soit de 3 pouces, et pour les autres grossissements à proportion. Ainsi, pour grossir 50 fois, il suffit que l'ouverture de l'objectif soit d'un pouce et demi ; pour grossir 25 fois, trois quarts d'un pouce suffisent, et ainsi des autres grossissements.

On voit par là que pour les petits grossissements une très-petite ouverture de l'objectif est suffisante, et que par conséquent la distance de foyer peut être très-médiocre. Mais, si l'on veut grossir 200 fois, l'ouverture de l'objectif doit être de 6 pouces ou d'un demi-pied ; ce qui demande déjà un très-grand verre, dont la distance de foyer doit surpasser même 100 pieds pour obtenir une expression nette et bien déterminée : c'est la raison pourquoi les grands grossissements demandent les lunettes si considérablement longues, au moins selon l'arrangement ordinaire des verres que j'ai l'honneur d'expliquer à Votre Altesse ; car, depuis quelque temps, on a travaillé avec bien du succès à diminuer cette longueur excessive. Toutefois l'ouverture de l'objectif doit suivre la règle que je viens d'établir, puisque la clarté en dépend nécessairement.

Ainsi, si l'on voulait faire une lunette qui grossît 400 fois, l'ouverture de l'objectif devrait toujours être de 12 pouces ou d'un pied, quelque petite qu'on pût rendre sa distance de foyer ; et si l'on voulait grossir 4,800 fois, l'ouverture de l'objectif devrait être de 10 pieds. Ce verre serait donc bien et même trop grand, pour que nos artistes le pussent exécuter ; et c'est la principale raison que nous ne saurions espérer de porter jamais le grossissement si loin, à moins qu'un grand prince n'y voulût fournir les dépenses nécessaires pour former et travailler de si grands verres ; et encore peut-être n'y réussirait-on point.

Cependant, une lunette qui grossirait 4,000 fois nous devrait découvrir bien des merveilles dans le ciel : la lune nous paraîtrait 4,000 fois plus grande que nous ne la voyons à la vue simple ; ou bien nous verrions la lune tout comme si elle nous était 4,000 fois plus proche qu'elle n'est en effet. Voyons donc jusqu'à quel degré

nous y pourrions distinguer les différents corps qui s'y trouvent. On estime la distance de la lune de 52,000 milles d'Allemagne, dont la 4,000e partie fait 13 milles; et ainsi une telle lunette nous ferait voir la lune de la même manière que si nous n'en étions éloignés que de 13 milles, et par conséquent nous y pourrions distinguer les mêmes choses que nous distinguons sur des objets éloignés à la même distance : or, sur une montagne, on peut bien voir d'autres montagnes qui en sont éloignées au delà de 13 milles. Il n'y a donc point de doute que nous ne découvrissions sur la surface de la lune quantité de choses dont nous serions bien surpris ; mais, pour décider si la lune est habitée par des créatures semblables à celles de la terre, une distance de 13 milles est encore trop grande ; il faudrait avoir, pour cet effet, une lunette qui grossît encore 10 fois davantage, et par conséquent en tout 40,000 fois, dont l'objectif devrait avoir une ouverture de 400 pieds, ce que l'adresse des hommes n'exécutera jamais. Mais par une telle lunette nous verrions la lune tout comme si elle n'était pas plus éloignée de nous que l'est Berlin de Spandau, et de bons yeux y pourraient bien voir des hommes s'il y en avait, mais pourtant trop peu distinctement pour s'en assurer entièrement.

Comme nous devons nous contenter de souhaits à cet égard, je souhaiterais plutôt tout d'un coup avoir une lunette qui grossît 100,000 fois; alors la lune se présenterait comme si elle n'était éloignée de nous que d'un demi-mille. L'ouverture de l'objectif de cette lunette devrait donc être de 250 pieds, et au moins les grosses bêtes dans la lune nous deviendraient visibles.

6 mars 1762.

LETTRE LXXXI.

Sur la netteté dans l'expression; sur l'espace de diffusion causée par l'ouverture des objectifs, et considérée comme la première source du défaut de netteté dans la représentation.

La netteté dans l'expression est un article si important entre les qualités d'une lunette, qu'il semble l'emporter sur tous les autres dont j'ai eu déjà l'honneur de rendre compte à Votre Altesse, puisque tout le monde convient qu'une lunette qui ne représente pas nettement les images des objets est fort défectueuse. Je dois donc principalement expliquer les sources de ce défaut de netteté, afin

qu'on puisse ensuite penser avec d'autant plus de succès sur les moyens d'y remédier.

Ces sources paraissent d'autant plus cachées que les principes que j'ai établis jusqu'ici n'en découvrent point l'origine ; et, en effet, ce défaut vient de ce qu'un des principes dont je me suis servi jusqu'ici n'est point vrai à la rigueur, quoiqu'il ne s'écarte que très-peu de la vérité.

Votre Altesse se souvient que j'ai posé pour principe qu'un verre convexe rassemble dans un point de l'image tous les rayons qui partent d'un point de l'objet : si cela était vrai à la rigueur, les images représentées par les verres seraient aussi bien terminées que l'objet même, et il n'y aurait point à craindre de défaut de ce côté.

Voilà maintenant en quoi consiste la défectuosité de ce principe : les verres n'ont cette propriété que je leur ai supposée qu'autour de leur milieu ; les rayons qui passent vers les bords d'un verre se rassemblent dans un autre point que ceux qui passent vers le milieu du verre, quoique tous viennent d'un même point de l'objet, et de là naissent deux images différentes, qui troublent la netteté.

Pour mettre cela dans tout son jour, considérons le verre convexe PP (*fig.* 184), sur l'axe duquel se trouve l'objet E*e*, dont le point E, situé dans l'axe, envoie les rayons EN, EM, EA, EM, EN, sur la surface du verre ; et c'est sur la route de ces rayons, changés par la réfraction, qu'il faut fixer notre attention.

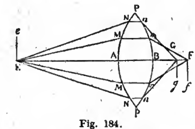


Fig. 184.

I. D'abord le rayon EA, qui passe par le milieu A du verre, n'en souffre aucune réfraction, et continue sa route dans la même direction sur la ligne ABF.

II. Les rayons EM et EM, fort proches de celui-là, souffriront une petite réfraction par laquelle ils se réunissent quelque part en F avec l'axe, où est le lieu de l'image F*f*, dont j'avais parlé dans mes premiers entretiens sur cette matière.

III. Les rayons EN et EN, qui sont plus éloignés de l'axe EA, et qui passent vers les bords NN du verre, souffrent une réfraction un peu différente, qui les réunit, non dans le point F, mais dans un autre point G plus proche du verre ; et ces rayons représenteront une autre image G*g*, différente de la première F*f*.

IV. Remarquons donc bien cette circonstance toute particulière, à laquelle je n'ai pas fait attention auparavant : c'est que les rayons qui passent par le verre vers ses bords représentent une autre image G*g* que ceux qui passent par le milieu MAM du verre.

V. Si les rayons EN, EN s'éloignaient encore plus du milieu A, et qu'ils passassent par les extrémités mêmes P et P du verre, leur réunion s'approcherait encore davantage du verre, et formerait une nouvelle image plus proche du verre que ne l'est G*g*.

VI. De là Votre Altesse jugera aisément que la première image F*f*, qu'on nomme la principale, n'est formée que par les rayons qui sont presque infiniment proches du milieu A ; et dès que les rayons s'en écartent vers les bords du verre, il s'en est formé une image particulière plus proche du verre, jusqu'à ce que ceux qui passent près les bords en forment la dernière G*g*.

VII. Donc, en effet, tous les rayons qui passent par le verre PP représentent une infinité d'images disposées entre F*f* et G*g*, et à chaque distance de l'axe la réfraction du verre produit une image particulière, de sorte que l'espace entre F et G est rempli d'une file d'images.

VIII. Cette file d'images est aussi nommée la diffusion de l'image ; et, quand tous ces rayons entrent ensuite dans quelque œil, il est naturel que la vision en sera d'autant plus troublée, que l'espace FG par lequel l'image est répandue est plus considérable : si cet espace FG se réduisait à rien, aucune confusion ou défaut de netteté ne serait à craindre.

IX. Plus les arcs PAP et PBP sont de grandes parties des cercles dont ils sont pris, plus aussi l'espace de diffusion FG est grand ; et de là Votre Altesse comprend pourquoi il faut rejeter tous les verres trop épais, où ces arcs qui forment les faces du verre sont des parties considérables de cercles ; comme dans la *fig.* 185, où les arcs PAP et PBP sont la quatrième partie de la circonférence entière ; de sorte que chacun contient 90 degrés, ce qui par conséquent produirait une confusion insupportable.

X. Il faut donc que les arcs qui forment les faces d'un verre contiennent beaucoup moins que 90 degrés ; s'ils en contenaient 60, la diffusion de l'image serait encore insupportable. Les auteurs qui ont écrit sur cette matière ne veulent admettre que 30 degrés tout au plus, et il y en a qui se bornent à 20 degrés. Un tel verre est représenté dans la *fig.* 186, où les arcs PAP et PBP ne con-

Fig. 185.

P A B P Fig. 186.

tiennent que 20 degrés, chacun n'étant que la 18e partie de la circonférence entière d'où ils sont pris.

XI. Mais si ce verre doit tenir lieu d'un objectif dans une lunette, il faut que les arcs PAP et PBP contiennent encore beaucoup moins de degrés : car, quoique la diffusion de l'image soit insensible en elle-même, le grossissement la multiplie autant de fois que l'objet même. Et ainsi, plus le grossissement est grand, plus doit être petit le nombre de degrés que les faces embrassent.

XII. Quand la lunette doit grossir 100 fois, Votre Altesse se souvient que l'ouverture PP de l'objectif doit être de 3 pouces, et sa distance de foyer 360 pouces, qui est égale aux rayons dont les deux arcs PAP et PBP sont décrits ; d'où il s'ensuit que chacun de ces deux arcs ne contient qu'un demi-degré, et c'est la netteté dans l'expression qui exige une si petite mesure : si l'on voulait grossir 200 fois, un demi-degré serait encore trop, et alors la mesure des arcs ne devrait pas surpasser le tiers d'un degré. Cependant cet arc doit recevoir une étendue de 6 pouces ; ainsi le rayon du cercle doit être d'autant plus grand, et par conséquent aussi la distance de foyer. C'est la véritable raison pourquoi les grands grossissements demandent les lunettes si considérablement longues.

9 mars 1762.

LETTRE LXXXII.

De la diminution de l'ouverture des verres, et des autres moyens de diminuer l'espace de diffusion, et de le réduire même à rien.

Lorsque l'espace de diffusion d'un verre objectif est trop grand pour que le défaut dans la netteté de l'image qui en résulte soit supportable, rien n'est plus aisé que de remédier à ce défaut. On n'a qu'à couvrir le verre d'un cercle de carton percé d'un trou vers le centre, de sorte que le verre ne puisse transmettre d'autres rayons que ceux qui y tombent par le trou, et que ceux qui passaient auparavant par les bords du verre en soient exclus : car, puisqu'à présent il n'y a que les rayons qui soient transmis vers le milieu du verre, l'espace de diffusion sera d'autant plus petit, plus le trou est petit ; et par ce moyen, en diminuant le trou, on peut rendre l'espace de diffusion aussi petit qu'on voudra.

Il en est alors de même que si le verre n'était pas plus grand que le trou ; ainsi la partie couverte par le carton devient inutile, et

c'est le trou qui détermine l'ouverture du verre : aussi se sert-on de ce remède pour donner aux verres objectifs autant d'ouverture que l'on juge à propos.

Dans la *fig.* 187, PP est le verre objectif devant lequel est placé le carton NN percé du trou MM; et maintenant on dit que ce trou MM est l'ouverture du verre. Cette ouverture MM est ici à peu près la moitié de ce qu'elle serait si l'on ôtait le carton, et ainsi l'espace de diffusion est beaucoup plus petit : on remarque que l'espace de diffusion pour ce cas-ci n'est que le quart de celui d'auparavant; un moindre trou MM, qui ne serait que le tiers de PP, rendrait l'espace de diffusion 9 fois plus petit. Ainsi l'effet de ce remède est très-considérable, et, pour peu qu'on couvre les bords d'un verre, l'effet en devient très-sensible.



Fig. 187.

Si donc une lunette a le défaut que les objets ne paraissent pas assez nets, puisqu'une file d'images qui se confondent ensemble doit nécessairement produire une confusion, alors on n'a qu'à rétrécir l'ouverture du verre objectif par un tel carton, et cette confusion s'évanouira infailliblement. Mais on tombe dans un autre défaut qui n'est pas moins fâcheux, c'est que le degré de clarté en devient diminué. Votre Altesse se souvient que chaque grossissement exige une certaine ouverture de l'objectif, afin qu'il y soit transmis autant de rayons qu'il en faut pour nous procurer une clarté suffisante : il est donc bien fâcheux qu'en remédiant à un défaut on s'expose à un autre; et il faut absolument qu'une bonne lunette fournisse assez de clarté, sans nuire à la netteté dans la représentation des objets.

Mais n'y aurait-il pas un moyen de diminuer ou de réduire même à rien l'espace de diffusion des verres objectifs, sans en diminuer l'ouverture ? Voilà la grande question à laquelle on travaille depuis quelque temps, et dont la solution nous promet les plus grands progrès dans la dioptrique. J'aurai donc l'honneur d'expliquer à Votre Altesse les moyens que les savants ont imaginés pour arriver à ce but.

Comme le foyer des rayons qui passent par le milieu d'un verre convexe est plus éloigné du verre que le foyer des rayons qui passent vers les bords, on a remarqué que les verres concaves produisent un effet contraire ; ce qui a occasionné cette recherche, s'il ne serait pas possible de combiner un verre convexe avec un verre concave, de façon que l'espace de diffusion fût entièrement anéanti, et que d'ailleurs un tel verre composé produisît le même effet qu'un objectif ordinaire simple. Votre Altesse sait que les

verres concaves sont aussi bien mesurés par leur distance de foyer que les verres convexes, avec cette différence que le foyer des concaves n'est qu'imaginaire, et tombe devant le verre, pendant que le foyer des verres convexes est réel, et tombe derrière eux. Cela remarqué, on raisonne de la manière suivante :

I. Si l'on place derrière un verre convexe PAP (*fig.* 188) un verre concave QBQ de la même distance de foyer, les rayons que le verre convexe réunirait dans son foyer seront réfractés par le verre concave; de sorte qu'ils redeviennent parallèles entre eux, tout comme ils l'étaient avant que de passer par le verre convexe.

Fig. 188.

II. Dans ce cas donc, le verre concave détruit l'effet du verre convexe ; et il en est de même que si les rayons continuaient leur route naturelle sans avoir éprouvé aucune réfraction : car le verre concave ayant son foyer au même point F, rétablit dans le parallélisme les rayons qui voudraient concourir au point F.

III. Si la distance de foyer du verre concave était plus petite que celle du verre convexe, il produirait un plus grand effet, et rendrait les rayons divergents, comme dans la *fig.* 189; les rayons incidents parallèles LM, EA, LM, en passant par les deux verres, prennent les routes NO, BF, NO, qui sont divergentes entre elles. Ces deux verres ensemble produisent donc le même effet qu'un certain verre concave simple, qui imprimerait aux rayons incidents parallèles la même divergence. Donc, deux tels verres joints ensemble, dont le concave a une plus petite distance de foyer que le convexe, sont équivalents à un seul verre concave.

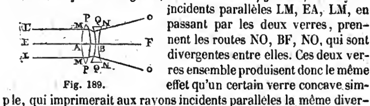


Fig. 189.

IV. Mais si le verre concave QQ (*fig.* 190) a une plus grande distance de foyer que le verre convexe PP, il n'est pas même suffisant de rendre parallèles entre eux les rayons que le seul verre convexe voudrait réunir dans son foyer F : ces rayons demeureront donc convergents, mais leur convergence sera diminuée par le verre concave; en sorte qu'au lieu de se réunir en F, les rayons se réuniront dans un point O plus éloigné.

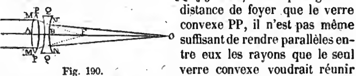


Fig. 190.

V. Ces deux verres joint ensemble produiront donc le même effet qu'un seul verre convexe simple qui aurait son foyer en O, puis-

qu'un tel verre réunirait les rayons parallèles LM, EA, LM, également dans le même point : d'où il est clair qu'il est possible de combiner d'une infinité de manière deux verres, l'un convexe et l'autre concave, de sorte que leur combinaison soit équivalente à un verre convexe donné.

VI. Un telle verre objectif double pourra donc être employé dans les lunettes au lieu d'un simple auquel il est équivalent, et l'effet par rapport au grossissement sera tout à fait le même. Or, l'espace de diffusion sera tout à fait différent, et il peut arriver qu'il soit ou plus grand ou plus petit que celui d'un objectif simple; et dans ce dernier cas, l'objectif double sera bien préférable au simple.

VII. Mais il y a plus : on a trouvé qu'il est possible de faire de tels arrangements de deux verres, où l'espace de diffusion est tout à fait réduit à rien; ce qui est sans doute le cas le plus avantageux pour la perfection des lunettes. Le calcul nous découvre ces arrangements, mais les artistes ne sont pas encore assez habiles pour les exécuter.

13 mars 1762.

LETTRE LXXXIII.

Des objectifs composés.

Une telle combinaison de deux verres, dont je viens de donner une idée à Votre Altesse, est nommée un *objectif composé*, dont le but est que tous les rayons, tant ceux qui passent par le milieu du verre que ceux qui passent par les bords, soient réunis dans un seul point, de sorte qu'il ne s'y forme qu'une seule image sans aucune diffusion, comme il arrive dans les objectifs simples. Si les artistes réussissaient dans cette construction, on en retirerait les plus grands avantages. J'en rendrai compte à Votre Altesse.

D'abord il est évident que la représentation des objets doit être beaucoup plus nette et mieux terminée, puisque la vision n'est plus troublée par l'apparition de cette file d'images qui occupent l'espace de diffusion lorsque l'objet est simple.

Ensuite, puisque cet espace de diffusion est l'unique raison qui nous oblige de donner aux objectifs simples une si excessive distance de foyer, pour rendre insensible le fâcheux effet qui en résulte, en employant de tels objectifs composés, nous ne sommes plus réduits à cet expédient incommode, et nous pourrons faire

des lunettes incomparablement plus courtes, qui produisent le même grossissement.

Lorsqu'on veut grossir 100 fois en employant un objectif simple, sa distance de foyer ne saurait être plus petite que de 30 pieds, et la longueur de la lunette devient encore plus grande à cause du verre oculaire, dont la distance de foyer y doit être ajoutée; un moindre objectif produirait, à cause de son plus grand espace de diffusion, une confusion insupportable. Or, une longueur de 30 pieds est non-seulement très-incommode, mais aussi les artistes réussissent rarement à former des verres d'une si grande distance de foyer; Votre Altesse en comprendra aisément la raison, puisque le rayon des faces de ce verre doit être aussi de 30 pieds : or, il est très-difficile de décrire exactement un si grand cercle, et la moindre aberration rend tout le travail inutile.

De tels accidents ne sont pas à craindre dans la construction des verres objectifs composés, qui peuvent être formés de plus petits cercles, pourvu qu'ils soient susceptibles de l'ouverture que le grossissement exige. Ainsi, pour grossir 100 fois, nous avons vu que l'ouverture de l'objectif doit être de 3 pouces; or, on pourra bien construire un objectif composé dont la distance de foyer ne serait que de 100 pouces, et qui admettrait une ouverture de plus de 3 pouces; donc, puisque la distance de foyer de l'oculaire doit être 100 fois plus petite, elle serait d'un pouce; et l'intervalle entre les verres devant être la somme de leurs distances de foyer, la longueur de la lunette ne serait que de 101 pouces, qui sont 8 pieds et 5 pouces, qui est bien plus petite que celle de 30 pieds.

Mais il semble qu'un tel objectif composé, dont le foyer serait à 50 pouces, pourrait aussi bien admettre encore une ouverture de 3 pouces, et même au delà; donc, prenant l'oculaire d'un demi-pouce de foyer, on obtiendra le même grossissement de 100 fois, et la longueur de la lunette serait réduite à la moitié, c'est-à-dire à 4 pieds et presque 3 pouces. Une telle lunette produirait donc le même effet qu'une ordinaire de 30 pieds, ce qui est sans doute le plus grand avantage qu'on puisse souhaiter.

Si un tel objectif composé réussissait, on n'aurait qu'à doubler toutes les mesures pour en avoir un qui admît une ouverture de 6 pouces; et celui-ci pourrait être employé à grossir 200 fois, en se servant d'un oculaire d'un demi-pouce de foyer, comme la deux centième partie de la distance de foyer de l'objectif, qui serait dans ce cas de 100 pouces. Or, une lunette ordinaire qui grossit 200 fois surpasse la longueur de 100 pieds, pendant que celle qui est faite avec un objectif composé ne contient qu'environ 8 pieds, et peut

être employée très-commodément dans la pratique; au lieu qu'une lunette de cent pieds est un fardeau presque entièrement inutile.

Mais on pourrait bien pousser la chose beaucoup plus loin, et doubler encore les mesures, pour avoir un objectif composé dont la distance de foyer fût de 200 pouces, ou de 16 pieds et 8 pouces, qui admette une ouverture de 12 pouces ou d'un pied; alors, prenant un oculaire d'un demi-pouce de foyer, puisque 200 pouces contiennent 400 demi-pouces, on aura une lunette qui grossira 400 fois, et qui sera encore très-bien traitable, étant au-dessous de 17 pieds: pendant que si l'on voulait produire le même grossissement par un verre objectif simple, la longueur de la lunette devrait surpasser 300 pieds; mais une telle lunette ne serait certainement d'aucun usage à cause de sa prodigieuse longueur.

A Paris on a une lunette de 120 pieds, et à Londres une de 130 pieds; mais les terribles difficultés de les monter et de les diriger, anéantissent presque les avantages qu'on s'en était promis. De là Votre Altesse jugera aisément combien il serait important si l'on réussissait dans la construction de ces objectifs composés dont je viens de parler. J'en avais donné les premières idées il y a plusieurs années, et depuis ce temps les plus habiles artistes en Angleterre et en France travaillent à les exécuter; la chose demande bien des essais et une grande adresse de la part de l'ouvrier; et quoique j'aie fait faire par le mécanicien de notre Académie quelques essais non sans succès, les dépenses qu'une telle entreprise exige m'ont obligé d'y renoncer.

Mais, l'année passée, la Société des sciences à Londres a annoncé qu'un très-habile artiste, nommé Dollond, en était venu heureusement à bout; et maintenant on admire partout ses lunettes. A Paris, un aussi habile artiste, nommé Passement, se vante d'un pareil succès: l'un et l'autre m'a fait l'honneur autrefois d'entretenir une correspondance avec moi sur cette matière; mais puisqu'il s'agissait principalement de surmonter quelques grands obstacles dans la pratique, ce dont je ne m'étais jamais mêlé, il est bien juste que je leur abandonne la gloire de la découverte; ce n'est que la partie théorétique qui m'appartient, et qui m'a coûté des recherches bien profondes et des calculs des plus pénibles, dont Votre Altesse serait effrayée à la seule vue: ainsi je me garderai bien de l'entretenir sur cette matière épineuse.

16 mars 1762.

LETTRE LXXXIV.

De la formation des objectifs simples.

Pour donner cependant à Votre Altesse quelque idée des recherches qui m'ont conduit à la construction des objectifs composés, je dois commencer par la formation des verres simples. Je remarque que les deux faces d'un verre peuvent être formées d'une infinité de manières differentes, en prenant les cercles dont les faces sont des parties, ou égaux ou inégaux entre eux, de sorte pourtant que la distance de foyer demeure toujours la même.

Ordinairement on donne aux deux faces d'un verre la même figure, ou bien, comme on représente les faces des verres par des arcs de cercles, on fait les deux faces des rayons égaux entre eux. La commodité dans l'exécution a sans doute recommandé cette figure, puisqu'on peut se servir du même bassin pour y former l'une et l'autre face, et la plupart des ouvriers n'est pourvue que d'un petit nombre de bassins.

Supposons donc un verre convexe dont les deux faces soient travaillées sur un même bassin de 24 pouces de rayon, de sorte que chaque face soit un arc d'un cercle dont le rayon soit de 24 pouces. Un tel verre est nommé également convexe des deux côtés, et il aura son foyer à la distance de 24 pouces, comme on l'estime communément; mais comme le foyer dépend de la réfraction, et que la réfraction n'est absolument pas la même dans toutes les espèces de verres où se trouve une diversité assez considérable selon que le verre est plus ou moins blanc et dur, cette estime du foyer n'est pas juste à la rigueur, et ordinairement la distance de foyer du verre est un peu moindre que le rayon de ces deux faces, tantôt de la dixième partie, tantôt de la douzième : ainsi le verre que je viens de supposer, et dont les rayons de chaque face sont de 24 pouces, aura son foyer à une distance de 22 pouces environ, s'il est travaillé de la même sorte de verre dont on fait communément les miroirs, quoiqu'on rencontre aussi dans cette espèce de verres une petite diversité par rapport à la réfraction.

Maintenant je remarque qu'en faisant les deux faces du verre inégales on peut former une infinité d'autres verres qui ont tous la même distance de foyer; car en prenant le rayon d'une face plus petite que de 24 pouces, on prendra le rayon de l'autre face d'autant plus grand, selon une certaine proportion, et toujours on peut prendre le rayon d'une face à volonté, et, par le moyen d'une

certaine règle, trouver le rayon de l'autre face, afin que la distance de foyer devienne la même que si l'une et l'autre face avait 24 pouces de rayon. La table suivante offre plusieurs verres pareils qui ont tous la même distance de foyer.

Verres		I,	II,	III,	IV,	V,	VI,	VII,	VIII,	IX.
Rayons de la	1re face.	24,	21,	20,	18,	16,	15,	14,	13,	12.
	2e face.	24,	28,	30,	36,	48,	60,	84,	156,	infini.

Dans la dernière forme le rayon d'une face n'est que de 12 pouces, ou la moitié de 24 pouces; mais le rayon de l'autre devient infini, ou bien cette face est un arc d'un cercle infiniment grand; et comme un tel arc ne diffère plus d'une ligne droite, cette face sera plane, et ce verre plano-convexe.

Si nous voulions prendre le rayon d'une face encore plus petit que de 12 pouces, l'autre face doit être faite concave, et le verre deviendra convexo-concave, et portera alors le nom de ménisque, dont voici aussi plusieurs figures :

Ménisque		X,	XI,	XII,	XIII,	XIV,	XV,	XVI.
Rayons de la face	convexe.	11,	10,	9,	8,	6,	4,	3.
	concave.	132,	60,	36,	24,	12,	6,	4.

Voilà donc encore une nouvelle espèce de verres dont la dernière est représentée dans la *fig*, 191, de sorte que nous avons ici 16 espèces différentes, qui ont toutes leurs foyers à la même distance, qui sera environ de 22 pouces, ou un peu plus ou moins, selon la nature du verre.

Fig. 191.

Donc, quand il n'est question que de la distance de foyer que le verre doit avoir, il est indifférent selon laquelle de ces formes on le veuille travailler; mais il s'y trouve une très-grande différence dans l'espace de diffusion auquel chaque espèce est assujettie, cet espace devenant dans les unes plus petit que dans les autres. Quand on veut employer un verre objectif simple, comme à l'ordinaire, il n'est plus indifférent de quelle espèce on tire sa figure : celle-là sera sans doute la plus préférable, qui produit le plus petit espace de diffusion. Or, cette belle propriété ne convient pas à la première espèce, où les deux faces sont égales; mais à peu près à la septième espèce, qui est douée de cette prérogative, que lorsqu'on tourne vers l'objet sa face plus convexe, ou celle dont le rayon est plus petit, alors l'espace de diffusion se trouve environ de la moitié plus petit que si le verre était également convexe des deux côtés: c'est donc la figure la plus avantageuse qu'il faut

donner aux verres objectifs simples, et aussi les praticiens sont d'accord là-dessus.

De là il est clair que, pour juger de l'espace de diffusion de quelque verre, il ne suffit pas d'en connaître la distance de foyer, mais il faut savoir son espèce, c'est-à-dire les rayons de l'une et de l'autre face, et encore bien distinguer laquelle est tournée vers l'objet.

Après cette explication, je remarque que, pour chercher la combinaison de deux verres qui ne produisent aucune diffusion d'image, il faut absolument tenir compte de la figure des deux faces de chaque verre, et qu'on a ce problème à résoudre : *Quels doivent être les rayons des faces des deux verres, afin que l'espace de diffusion soit réduit à rien?* La solution de cette question demande les plus profondes recherches de la plus sublime géométrie ; mais, après en être venu à bout, l'artiste trouve encore bien des difficultés à surmonter : il lui faut donner aux bassins précisément la même courbure que le calcul a enseignée, et cela n'est pas encore suffisant ; car, pendant qu'on travaille le verre sur le bassin pour lui en faire prendre la figure, le bassin même en souffre aussi à son tour. On est donc obligé de rectifier la figure du bassin de temps en temps, et cela avec la plus grande justesse. Dès qu'on manque dans toutes ces précautions, on ne saurait se promettre un heureux succès ; aussi est-il bien difficile d'empêcher que le verre ne prenne une figure un peu différente de celle du bassin : d'où Votre Altesse jugera aisément combien il doit être difficile de porter à sa perfection cet important article de la dioptrique.

20 mars 1762.

LETTRE LXXXV.

Seconde source du défaut de netteté dans la représentation faite par les lunettes. Sur la différente réfrangibilité des rayons.

Votre Altesse vient de voir de quelle manière on doit remédier à l'inconvénient que les rayons qui passent par les bords d'un verre ne se réunissent pas dans le même point dans lequel sont réunis ceux qui passent dans son milieu, de sorte qu'il en naît une infinité d'images dispersées par l'espace de diffusion. Mais cet inconvénient n'est pas le seul auquel les verres soient assujettis ; il y en a encore un autre, qui est d'autant plus important qu'il semble impossible d'y remédier, parce que la cause ne se trouve pas dans le verre, mais dans la nature des rayons même.

Votre Altesse se souvient qu'il règne une grande variété dans les rayons, par rapport aux diverses couleurs dont ils nous impriment le sentiment ; j'ai comparé cette diversité avec celle qu'on trouve dans les tons, ayant établi pour principe que chaque couleur est attachée à un certain nombre de vibrations. Mais quand même cette explication paraîtrait encore douteuse, il est toujours très-certain que les rayons des diverses couleurs souffrent aussi de différentes réfractions, en passant d'un milieu transparent dans un autre ; ainsi les rayons rouges souffrent la moindre réfraction, et les violets la plus grande, quoique la différence soit presque imperceptible. Or, toutes les autres couleurs, comme l'orange, le jaune, le vert et le bleu, sont, à l'égard de la réfraction, contenues entre ces deux limites. Il faut aussi remarquer que le blanc est un mélange de toutes les couleurs, qui, par la réfraction, se séparent les unes des autres.

En effet, quand (*fig.* 192) on fait tomber obliquement un rayon blanc OP, ou un rayon de soleil, sur un morceau de verre ABCD, au lieu de continuer sa route suivant sa direction PQ, non-seulement il en est détourné, mais il se partage encore en plusieurs rayons P*r*, P*s*, P*t*, P*v*, dont le premier P*r*, qui est le moins détourné, représente la couleur rouge, et le dernier P*v*, qui est le plus détourné, la couleur violette. La dispersion *rv* est bien plus petite que ne le représente la figure ; cependant leur divergence devient de plus en plus sensible.

Fig. 192.

De cette différente réfrangibilité des rayons, selon leurs diverses couleurs, naissent les phénomènes suivants par rapport aux verres dioptriques :

I. Soit PP (*fig.* 193) un verre convexe, sur l'axe duquel OR se trouve dans un très-grand éloignement AO, l'objet O*o* dont il s'agit de déterminer l'image représentée par le verre, en faisant ici abstraction de la première irrégularité qui regarde la diffusion, ou bien, ce qui revient au même, en ne considérant ici que les rayons qui passent par le milieu du verre AB, tout comme si ses bords étaient couverts d'un carton.

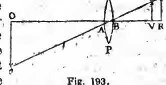


Fig. 193.

II. Supposons maintenant que l'objet O*o* soit rouge, de sorte que

tous ses rayons aussi soient de la même nature, le verre en représentera quelque part l'image Rr également rouge ; alors on nomme le point R le foyer des rayons rouges, ou de ceux qui souffrent la moindre réfraction.

III. Mais si l'objet Oo est violet, puisque les rayons de cette couleur souffrent la plus grande réfraction, l'image Vv sera plus proche du verre que la précédente Rr; ce point V est nommé le foyer des rayons violets.

IV. Si l'objet était teint de quelque autre couleur, moyenne entre la rouge et la violette, l'image tomberait entre les lieux R et V, et serait toujours bien nette, et terminée par la droite oB, tirée de l'extrémité de l'objet o par le milieu du verre, cette règle étant générale pour toutes les couleurs.

V. Mais si la couleur de l'objet n'est pas pure comme il arrive presque dans tous les corps, ou que l'objet Oo soit blanc, ce qui est un mélange de toutes les couleurs ; alors les diverses espèces de rayons sont séparées par la réfraction, et chacune représentera une image à part. Celle qui est formée par les rayons rouges se trouvera en Rr, et celle qui est formée par les rayons violets, en Vv; or, tout l'espace RV sera rempli par les images des couleurs moyennes.

VI. De chaque objet donc Oo, le verre PP représentera une infinité d'images, disposées par le petit espace RV, dont la plus éloignée du verre Rr est rouge, et la plus proche Vv violette, et les moyennes, des couleurs moyennes, selon l'ordre des couleurs que nous voyons dans l'arc-en-ciel.

VII. Chacune de ces images sera bien nette en elle-même, et toutes sont terminées par la ligne droite oBvr, tirée de l'extrémité de l'objet o par le milieu du verre B. Mais toutes ensemble ne sauraient être vues sans une confusion assez sensible.

VIII. De là naît donc aussi un espace de diffusion comme dans la première irrégularité, mais qui en diffère en ce que celui-ci est indépendant de l'ouverture du verre, et que chaque image est teinte d'une couleur particulière.

IX. Cette espace de diffusion RV dépend de la distance de foyer du verre, de sorte qu'il en est toujours environ la 28e partie : ainsi, quand la distance de foyer du verre PP est de 28 pieds, l'espace RV devient égal à un pied entier, ou bien la distance entre l'image rouge Rr et la violette Vv est d'un pied. Si la distance de foyer était deux fois plus grande ou de 56 pieds, l'espace RV serait de 2 pieds, et ainsi des autres.

X. De là l'estime de la distance de foyer d'un verre devient

incertaine, puisque les rayons de chaque couleur ont leur foyer à part; et quand on parle du foyer d'un verre, il faudrait toujours s'expliquer de quelle couleur on l'entend. Mais communément on l'entend des rayons d'une nature moyenne entre le rouge et le violet, et qui répond à la couleur verte.

XI. Ainsi, quand on dit, sans s'expliquer davantage, que la distance de foyer de tel verre est, par exemple, de 56 pieds, il faut entendre que c'est l'image verte qui tombe à cette distance; l'image rouge tombera alors d'un pied environ plus loin, et la violette d'un pied plus près.

Voilà donc une nouvelle circonstance bien essentielle à laquelle il faut avoir égard dans les instruments dioptriques.

23 mars 1762.

LETTRE LXXXVI.

Sur un moyen de remédier à ce défaut, en employant des objectifs composés de verre et d'eau.

Il faut bien distinguer cette nouvelle diffusion, ou multiplication de l'image qui vient de la diverse réfrangibilité des rayons, en ce qu'ils sont de différentes couleurs; de la précédente, qui provenait de l'ouverture du verre, et de ce que les rayons qui passent près des bords forment une autre image que ceux qui passent par son milieu [1]. Aussi faut-il remédier à ce nouvel inconvénient d'une tout autre façon qu'au premier.

Votre Altesse voudra bien se souvenir que j'ai proposé deux moyens pour remédier à l'inconvénient précédent : l'un consistait dans l'agrandissement de la distance de foyer, pour diminuer la courbure des faces du verre; ce remède nous avait conduits à des lunettes extrêmement longues lorsqu'on souhaitait un grand grossissement. L'autre remède consistait dans la combinaison de deux verres, l'un convexe et l'autre concave, pour tempérer la réfraction, de façon que tous les rayons transmis par les verres se réunissent dans le même point, et que l'espace de diffusion fût réduit à rien.

Mais ni l'un ni l'autre de ces remèdes ne nous apporte aucun secours dans ce nouvel inconvénient, causé par la différente réfran-

1. Celle-ci se nomme *aberration de sphéricité*, et celle qui résulte de l'inégale réfraction des rayons diversement colorés a reçu le nom d'*aberration de réfrangibilité*.

gibilité des rayons. Le premier produit même un effet tout contraire, puisque plus on augmente la distance de foyer du verre, plus l'espace par lequel les images colorées sont dispersées devient considérable ; la combinaison de deux ou plusieurs verres n'est pas non plus d'aucun secours, et on a trouvé, tant par l'expérience que par la théorie, que les images de différentes couleurs demeurent toujours séparées, quelque grand que soit le nombre des verres par lesquels on fait passer les rayons, et que la différence devient d'autant plus grande que la lunette doit grossir davantage.

Cette circonstance a tellement effrayé le grand Newton qu'il a désespéré de remédier à ce défaut, qu'il croyait absolument inséparable de tous les instruments dioptriques où la vision se fait par des rayons réfractés. Par cette raison, il a pris le parti de renoncer entièrement à la réfraction, et a formé le dessein d'employer des miroirs au lieu des verres objectifs, puisque la réflexion est toujours la même pour tous les rayons : cette idée nous a procuré ensuite ces excellents télescopes à réflexion, dont on admire les effets surprenants, et dont je parlerai exprès une autre fois quand j'aurai rapporté tout ce qui regarde les instruments à réfraction.

Lorsque j'ai été convaincu qu'il était impossible de remédier à la diverse réfrangibilité des rayons par la combinaison de plusieurs verres, j'ai remarqué que la raison en est fondée sur la loi de réfraction, qui est la même dans toutes les espèces de verres ; et je me suis aperçu que si l'on pouvait employer d'autres matières transparentes dont la réfraction fût assez considérablement différente de celle du verre, il serait bien possible de combiner une telle matière avec le verre, de sorte que tous les différents rayons se réunissent à former une seule image, sans qu'il y eût un espace de diffusion. J'ai ensuite mieux suivi cette idée, et j'ai trouvé moyen de composer de verre et d'eau des objectifs tout à fait délivrés de l'effet de la diverse réfrangibilité des rayons, qui par conséquent devaient produire un aussi bon effet que les miroirs de Newton.

Or, j'ai exécuté cette idée par deux ménisques ou verres concavo-convexes (*fig.* 194), dont l'un est AACC, et l'autre BBCC, que j'ai joints ensemble par leurs faces concaves, en remplissant d'eau le vide qui restait entre elles, de sorte que les rayons qui sont entrés par le verre AACC doivent traverser l'eau contenue entre les deux verres avant de sortir par l'autre verre CCBB. Chaque rayon souffre donc quatre réfractions : la première, en entrant de l'air dans le verre AACC ; la seconde, en passant de ce verre dans l'eau ; la troisième,

Fig. 194.

en passant de l'autre verre CCBB; la quatrième, en sortant de ce verre dans l'air.

Comme les quatre faces de ces deux verres entrent ici en considération, j'ai trouvé moyen d'en déterminer les demi-diamètres en sorte que, de quelque couleur que soit un rayon de lumière après avoir souffert ces quatre réfractions, il se réunit dans le même point, et que la diverse réfrangibilité ne produit plus de diverses images.

Ces objectifs, composés de deux verres et d'eau, tombaient trop d'abord dans le premier inconvénient, que les rayons qui passent près des bords forment un autre foyer que ceux qui passent par le milieu ; mais, après des recherches bien pénibles, j'ai trouvé moyen de proportionner les rayons des quatre faces de façon que ces objectifs composés dussent être délivrés tout à la fois des inconvénients de l'une et de l'autre classe. Mais il fallait pour cela si exactement exécuter toutes les mesures prescrites par le calcul, que la moindre aberration faisait échouer tous les avantages qu'on en attendait; de sorte que je ne voulus plus insister sur la construction de ces objectifs.

D'ailleurs ce projet ne remédierait qu'aux inconvénients qui sont à craindre de la part du verre objectif; et le verre occulaire ne manquerait pas de produire un effet pareillement fâcheux, auquel il n'est pas possible de remédier de la même manière. Souvent aussi on se sert de plusieurs oculaires pour construire des lunettes, comme j'aurai l'honneur de l'expliquer dans la suite; et ainsi on ne gagnerait pas grand'chose si l'on s'arrêtait trop scrupuleusement au seul objectif, en négligeant les autres verres, quoique leur effet soit peu sensible par rapport à celui de l'objectif.

Mais, quelques peines que m'aient coûté ces recherches, je dois avouer franchement que je renonce à présent entièrement à la construction de tels objectifs composés de verres et d'eau, non-seulement à cause de leur exécution trop embarrassée, mais aussi parce que j'ai découvert depuis d'autres moyens, non pas de détruire l'effet de la diverse réfrangibilité des rayons, mais de le rendre insensible; sur quoi j'aurai l'honneur d'entretenir Votre Altesse l'ordinaire prochain.

27 mars 1762.

LETTRE LXXXVII.

Sur un autre moyen plus praticable pour remédier à ce défaut.

Lorsque les télescopes à réflexion sont venus en vogue, on a tellement décrié les lunettes à réfraction qu'on devait croire qu'elles ne mériteraient plus d'autre sort que d'être rejetées entièrement. Aussi depuis ce temps a-t-on négligé tout à fait leur construction, dans la ferme persuasion que tous les soins qu'on se donnerait aussi pour les perfectionner seraient inutiles, attendu que le grand Newton avait démontré que les effets fâcheux de la diverse réfrangibilité des rayons étaient absolument inséparables de la construction des lunettes[1].

Selon ce sentiment, toutes les lunettes ne nous sauraient représenter les objets qu'avec une confusion insupportable, et cela d'autant plus que le grossissement serait plus grand. Cependant, quoiqu'on trouve des lunettes extrêmement défectueuses à cet égard, on en trouve aussi quelquefois de très-bonnes, qui ne le cèdent en rien aux télescopes à réflexion tant vantés. C'est sans doute un très-grand paradoxe, car, si ce défaut qu'on reproche aux lunettes était bien fondé, on n'en devrait trouver aucune qui en fût exempte; par conséquent cette exception, dont l'expérience nous assure, mérite toute notre attention.

Il s'agit donc d'approfondir la véritable raison pourquoi quelques lunettes représentent assez nettement les objets, pendant que d'autres ne sont que trop assujetties au défaut causé par la différente réfrangibilité des rayons. Je crois en avoir découvert la raison, et je vais la proposer à Votre Altesse par les réflexions suivantes.

I. Il est très-certain que le verre objectif représente une infinité d'images de chaque objet, qui toutes se trouvent rangées sur l'espace de diffusion, et dont chacune est teinte de sa propre couleur, comme je l'ai prouvé dans ma lettre précédente.

II. Chacune de ces images devient un objet par rapport au verre oculaire qui en représente chacune séparément avec la couleur qui lui est propre : de sorte que l'œil découvre par la lunette une infinité d'images disposées dans un certain ordre, selon la réfraction des verres.

1. Ce fut cette raison qui conduisit Newton à imaginer son télescope à réflexion. Mais, quelle que soit la perfection de cet instrument, il n'a jamais la clarté des lunettes purement dioptriques, ce qui en rend l'usage très-embarrassant aussitôt qu'on dépasse certaines limites.

III. Et si, au lieu d'un verre oculaire, on en emploie plusieurs, il arrivera toujours la même chose; et, au lieu d'une image, la lunette en représentera à l'œil une infinité, ou bien une file d'images dont chacune exprime à part l'objet, mais d'une couleur particulière.

IV. Considérons donc les dernières images que la lunette offre à l'œil placé en O (*fig.* 195); et soit Rr l'image rouge, et Vv la violette: celles des autres couleurs se trouvant entre ces deux selon l'ordre de différente réfrangibilité. Dans cette figure je n'ai pas indiqué les verres de la lunette, puisqu'il s'agit uniquement de quelle manière l'œil voit ces images. Il faut seulement envisager la distance de l'œil O de ces images comme très-grande.

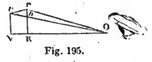


Fig. 195.

V. Toutes ces images Rr et Vv, avec les moyennes, sont donc situées sur l'axe de la lunette ORV, et terminées par une certaine ligne droite *rv*, qui est nommée la terminatrice de toutes les images.

VI. Comme j'ai représenté ces images dans la figure, l'image rouge Rr est vue par l'œil en O sous l'angle ROr, qui est plus grand que l'angle VOv, sous lequel est vue l'image violette Vv. Donc les rayons violets qui entrent de l'image Vv dans l'œil se mêlent avec les rouges qui viennent de la partie Rn de l'image rouge Rr.

VII. Par conséquent l'œil ne saurait voir l'image violette sans un mélange de rayons d'autres couleurs, mais qui répondent à différents points de l'objet même; ainsi le point *n* de l'image rouge est confondu dans l'œil avec l'extrémité *v* de l'image violette : d'où doit naître une grande confusion.

VIII. Or, le rayon rO n'étant point mêlé par d'autres, l'extrémité vue paraîtra rouge, ou bien l'image vue semblera bordée de rouge, qui se mêle ensuite avec les autres couleurs successivement, de sorte que l'objet paraîtra bordé des couleurs d'iris; ce qui est un défaut très-commun dans les lunettes, auquel cependant quelques-unes sont moins sujettes que d'autres.

IX. Si la plus grande image Rr était la violette et Vv la rouge, la confusion serait également insupportable; avec cette seule différence que les extrémités de l'objet paraîtraient alors bordées de violet au lieu de rouge.

X. La confusion dépend donc de la position de la droite terminatrice *rv* par rapport à la ligne VO, et de la diversité qui y peut avoir lieu; d'où il arrivera que la confusion sera tantôt plus grande, tantôt plus petite.

XI. Considérons maintenant le cas où les dernières images repré-

sentées par la lunette sont tellement arrangées que la droite terminatrice vr, étant prolongée, passe précisément dans l'œil. Alors l'œil verra par un seul rayon vrO (*fig.* 196) toutes les extrémités des images; et en général tous les points qui répondent à un même point de l'objet seront portés dans l'œil par un seul rayon, et par conséquent ils y seront représentés distinctement.

Fig. 196.

XII. Voilà donc le cas où il peut arriver que, nonobstant la diversité des images, l'œil voie l'objet distinctement, sans que diverses parties en soient confondues ensemble, comme il est arrivé dans le cas précédent. Ce cas avantageux a donc lieu lorsque la ligne terminatrice vr, étant prolongée, passe par le lieu de l'œil O.

XIII. Comme l'arrangement des dernières images Rr et Vv dépend de la disposition des verres oculaires, pour délivrer les lunettes du défaut qu'on leur reproche il ne s'agit que d'arranger ces verres en sorte que la ligne terminatrice des dernières images vr passe par l'œil, et les lunettes où cela arrive seront toujours excellentes.

30 mars 1762.

LETTRE LXXXVIII.

Récapitulation de toutes les qualités qu'une bonne lunette doit avoir.

En rassemblant ce que j'ai expliqué jusqu'ici, Votre Altesse conviendra aisément que c'est une chose bien rare et très-précieuse qu'une lunette excellente à tous égards, et qui ne soit assujettie à aucun défaut, puisqu'il faut avoir égard à tant de circonstances, dont chacune influe très-essentiellement sur la construction des bonnes lunettes. Comme le nombre des bonnes qualités est considérable, afin qu'aucune n'échappe à notre attention il sera bon de les mettre ici toutes à la fois devant les yeux de Votre Altesse.

I. La première qualité regarde le grossissement; et plus une lunette grossit les objets, plus elle est sans doute parfaite, pourvu qu'aucune des autres bonnes qualités n'y manque. Or, le grossissement se juge par le nombre de fois que le diamètre des objets paraît plus grand qu'à la vue simple : Votre Altesse se souviendra que cela arrive autant de fois, dans les lunettes à deux verres, que la distance de foyer du verre objectif surpasse celle de l'oculaire. Dans les lunettes à plusieurs verres ce jugement est plus embarrassé.

II. La seconde qualité d'une bonne lunette est la clarté. Une lunette est toujours fort défectueuse lorsqu'elle représente les objets obscurément, ou comme dans un brouillard. Pour éviter cet inconvénient, il faut que le verre objectif ait une ouverture suffisante, dont la mesure se règle sur le grossissement. Les artistes ont établi cette règle, que, pour grossir 300 fois, le diamètre de l'ouverture de l'objectif doit être de trois pouces; et pour tout autre grossissement, à proportion. Or, lorsque les objets ne sont pas fort lumineux d'eux-mêmes, il est bon de donner à l'objectif encore une plus grande ouverture que selon cette règle.

III. La troisième qualité consiste dans la distinction ou netteté de la représentation. Pour cet effet, il faut que les rayons qui passent par les bords de l'objectif se réunissent au même point que ceux qui passent par le milieu, ou que du moins l'aberration ne soit pas sensible. Quand on se sert d'un objectif simple, il faut que sa distance de foyer surpasse une certaine limite, qui se rapporte au grossissement. Ainsi, quand on veut grossir 100 fois, il faut que la distance de foyer de l'objectif soit de 30 pieds au moins; de sorte que c'est la distinction qui nous impose la nécessité de faire des lunettes si excessivement longues, lorsqu'on demande un très-grand grossissement. Or, pour remédier à cet inconvénient, on peut se servir d'un objectif composé de deux verres; et si les artistes réussissaient dans leur construction, on serait en état de raccourcir les lunettes très-considérablement pour le même grossissement. A cette occasion Votre Altesse voudra bien se souvenir de ce que j'ai eu l'honneur de dire fort au long sur ce sujet.

IV. La quatrième qualité regarde aussi la netteté ou la pureté de la représentation, en tant qu'elle est troublée par la diverse réfrangibilité des rayons de différentes couleurs. J'ai fait voir de quelle manière il est possible de remédier à cet inconvénient; et comme il est impossible que les images formées par les différents rayons soient réunies dans une seule, il s'agit d'arranger les verres d'une certaine manière que j'ai expliquée dans ma lettre précédente, c'est-à-dire que la ligne terminatrice des dernières images passe par l'œil. A moins que cela n'arrive, la lunette aura le défaut de représenter les objets environnés des couleurs d'iris; et ce défaut s'évanouit quand on arrange les verres de la manière démontrée. Or, pour cet effet, il faut employer plus que deux verres, afin qu'on ait le pouvoir de les arranger comme il faut. Jusqu'ici je n'ai parlé que des lunettes composées de deux verres, dont l'un est l'objectif et l'autre l'oculaire; et Votre Altesse sait que leur éloignement est déjà déterminé par les distances des foyers, de

sorte qu'on n'est plus le maître d'y rien changer. Cependant il arrive heureusement que la ligne terminatrice dont j'ai parlé passe à peu près par le lieu de l'œil ; de sorte que le défaut des couleurs d'iris n'est presque point sensible, pourvu qu'on ait remédié au défaut précédent, surtout quand le grossissement n'est pas très-grand. Mais dans les très-grands grossissements il est bon d'employer deux verres oculaires pour anéantir entièrement les couleurs d'iris, puisque dans ce cas les moindres défauts, étant également grossis, deviennent insupportables.

V. La cinquième et la dernière bonne qualité des lunettes est un grand champ apparent, ou l'espace que la lunette nous découvre à la fois. Votre Altesse se souvient que les petites lorgnettes de poche à un oculaire concave ont le défaut d'un trop petit champ, qui les rend incapables de grossir beaucoup. L'autre espèce, qui a l'oculaire convexe, est moins assujettie à ce défaut ; mais, comme celle-ci représente les objets renversés, les lunettes de la première espèce seraient pourtant beaucoup meilleures, si elles nous découvraient un plus grand champ. Or, ce champ dépend de l'ouverture du verre oculaire ; et Votre Altesse comprend aisément qu'on ne saurait augmenter cette ouverture à volonté, attendu qu'elle est déjà déterminée par sa distance de foyer. Or, en employant deux ou trois ou même plusieurs verres oculaires, on a trouvé moyen de rendre le champ apparent plus grand ; et c'est une nouvelle raison qui demande plusieurs verres pour construire des lunettes qui soient bonnes à tous égards.

A ces bonnes qualités on pourrait encore ajouter celle-ci : que la représentation ne soit pas renversée, comme il arrive dans les lunettes astronomiques ; mais il est aisé de remédier à ce défaut, si c'en est un, en ajoutant encore deux verres oculaires, comme j'aurai l'honneur de l'exposer l'ordinaire prochain.

3 avril 1762.

LETTRE LXXXIX.

Sur les lunettes terrestres à quatre verres.

Je me suis arrêté bien long-temps aux lunettes composées de deux verres convexes, qui sont connues sous le nom de tubes astronomiques, puisqu'on s'en sert communément pour observer les étoiles.

Votre Altesse comprendra aisément pourquoi l'usage de ces in-

struments, quelque excellents qu'ils soient, se borne uniquement au ciel ; la raison en est puisqu'ils représentent les objets dans une situation renversée, ce qui devient effectivement un grand défaut lorsqu'on veut contempler des objets terrestres que nous voudrions voir dans leur situation naturelle. Or, après la découverte de cette espèce de lunettes, on a trouvé bientôt moyen de remédier à ce défaut en doublant pour ainsi dire la même lunette. Car, puisque deux verres renversent les objets ou représentent leurs images renversées, on n'a qu'à regarder ces mêmes images encore par une telle lunette composée de deux verres, pour les renverser encore une fois, et alors cette seconde représentation nous offrira les objets debout. De là naît une nouvelle espèce de lunettes, composées de quatre verres, qu'on nomme des *lunettes terrestres*, puisqu'elles sont destinées à contempler les objets terrestres. Voici leur construction (*fig.* 197) :

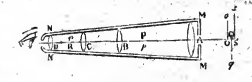


Fig. 197.

I. Les quatre verres A, B, C, D, enchâssés dans le tuyau MMNN, représentent la lunette en question dont le premier A dirigé vers les objets est nommé l'objectif, et les trois autres B, C, D les oculaires. Tous ces quatre verres sont convexes et l'œil doit être placé au bout du tuyau dans une certaine distance du dernier oculaire D, dont j'expliquerai la détermination dans la suite.

II. Considérons les effets que chaque verre doit produire quand l'objet O*o*, qu'on regarde par la lunette, se trouve à une distance fort grande : d'abord le verre objectif représentera l'image de cet objet P*p* à la distance de son foyer, dont la grandeur est déterminée par la ligne droite tirée de l'extrémité o, par le milieu du verre A ; cette ligne n'est pas exprimée dans la figure, pour ne la pas trop charger de lignes.

III. Cette image P*p* tient lieu de l'objet par rapport au second verre B, qu'on place de sorte que l'intervalle BP soit égal à sa distance de foyer; afin que la seconde image en soit transportée à l'infini comme en Q*q*, qui sera renversée comme la première P*p*, et terminée par la ligne droite tirée du milieu du verre B par l'extrémité *p*.

IV. L'intervalle entre ces deux premiers verres AB est donc égal à la somme de leurs distances de foyer; et si l'on tenait l'œil derrière le verre B, on aurait une lunette astronomique par laquelle

on verrait l'objet Oo en Qq, et conséquemment renversé et grossi autant de fois que la distance AP surpasse la distance BP. Mais, au lieu de l'œil, on place derrière le verre B, à quelque distance, le troisième verre C, par rapport auquel l'image Qq tient lieu de l'objet, puisqu'il reçoit effectivement les rayons de cette image Qq, laquelle se trouvant à une très-grande distance, le verre C en représentera l'image à sa distance de foyer en Rr.

V. Maintenant l'image Qq étant à rebours, cette nouvelle image Rr sera debout, et terminée par la ligne droite qu'on tirerait de l'extrémité q par le milieu du verre C, laquelle passerait par le point r. Par conséquent, les trois verres A, B, C ensemble représentent l'objet Oo en Rr, et cet image Rr est debout.

VI. Enfin, on n'a qu'à placer le dernier verre de façon que l'intervalle DR soit égal à sa distance de foyer; ce verre éloignera encore l'image Rr à l'infini, comme en Ss, dont l'extrémité s sera déterminée par la ligne droite qu'on tirerait du milieu du verre D par l'extrémité r, et l'œil placé derrière ce verre verra effectivement l'image Ss au lieu du véritable objet Oo.

VII. De là il est aisé de juger combien de fois cette lunette composée de quatre verres doit grossir les objets : on n'a qu'à avoir égard aux deux couples de verres AB et CD, dont chacune, séparément, serait une lunette astronomique. La première paire de verres A et B grossit autant de fois que la distance de foyer du premier verre A surpasse celle du second verre B; et c'est autant de fois que l'image qui en est formée Qq est plus grande que le véritable objet Oo.

VIII. Ensuite, cette image Qq tenant lieu de l'objet par rapport à l'autre paire de verres C et D, elle sera encore multipliée autant de fois que la distance du verre C surpasse celle du verre D. Ces deux grossissements joints ensemble fournissent le vrai grossissement que tous les quatre verres produisent.

IX. Ainsi, si la première paire de verres A et B grossissait 10 fois, et l'autre paire de verres C et D 3 fois, la lunette grossirait 3 fois 10 fois, c'est-à-dire 30 fois les objets; et l'ouverture du verre objectif A doit répondre à ce grossissement, selon la règle que j'ai établie ci-dessus.

X. De là Votre Altesse voit que si l'on ôte d'une lunette terrestre les deux derniers verres C et D, on aura une lunette astronomique, et que les deux verres C et D représentent aussi une telle lunette, de sorte qu'une lunette terrestre est composée de deux lunettes astronomiques : réciproquement, donc aussi deux lunettes astronomiques jointes ensemble produisent une lunette terrestre.

Cette construction est donc susceptible d'une infinité de variations, dont les unes sont préférables aux autres, comme j'aurai l'honneur de l'expliquer dans la suite.

6 avril 1762.

LETTRE XC.

Sur l'arrangement des verres dans les lunettes terrestres.

Votre Altesse vient de voir comment, en ajoutant à une lunette astronomique encore deux verres convexes, il en résulte une lunette terrestre, qui nous représente les objets debout. Or ces quatre verres dont une lunette terrestre est composée sont susceptibles d'une infinité d'arrangements différents, tant par rapport à leurs distances qu'à leurs foyers. Je vais expliquer (*fig.* 198) ceux qui sont les plus essentiels.

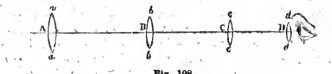


Fig. 198.

I. Par rapport à leurs distances, j'ai déjà remarqué que celle des deux premiers verres A, B est la somme de leurs distances de foyer, de même que celle des deux derniers verres C, D : l'une et l'autre paire pouvant être regardée comme une lunette simple, composée de deux verres convexes. Mais quelle doit être la distance entre les deux verres du milieu B, C ? Serait-elle bien permise à notre bon plaisir, puisqu'il est certain que, soit qu'on la prenne plus grande ou plus petite, le grossissement, qui est toujours composé des deux grossissements que chaque paire produirait séparément, demeure le même?

II. Or, à ne consulter que l'expérience, on apercevra bientôt qu'en approchant beaucoup les deux verres du milieu, le champ apparent s'évanouit presque tout à fait, et que le même inconvénient se manifeste quand on fait cette distance très-grande. Dans l'un et l'autre cas, quand on dirige la lunette vers un objet quelconque, on n'en découvre qu'une très-petite partie.

III. Par cette raison, les artistes se servent de cet expédient : ils approchent ou éloignent la dernière paire de verres de la pre-

mière, jusqu'à ce qu'ils découvrent le plus grand champ; et après avoir trouvé cette situation, ils y fixent les verres. Or, ils ont observé que dans cet arrangement, le plus avantageux, la distance du milieu B, C est toujours plus grande que la somme des distances de foyer de ces deux verres B et C.

IV. Votre Altesse jugera aisément que cette distance ne dépend point d'un pur hasard, mais qu'elle tire sa détermination de la théorie, et cela beaucoup plus exactement que par la seule expérience. Or, c'est le devoir d'un physicien de rechercher la cause de tous les phénomènes que l'expérience nous découvre. Je vais donc exposer les vrais principes qui nous fournissent la distance la plus avantageuse BC entre les deux verres du milieu. Voyez *fig.* 199.

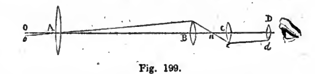


Fig. 199.

V. Puisque tous les rayons doivent être conduits à l'œil, considérons la route du rayon qui, venant de l'extrémité *o* de l'objet visible, passe par le milieu A du verre objectif; car, à moins que ce rayon ne soit conduit dans l'œil, cette extrémité *o* ne sera pas visible. Or, ce rayon ne souffre aucune réfraction dans le verre objectif, parce qu'il passe par son milieu A; il continuera par conséquent sa route en ligne droite jusqu'au second verre, qu'il rencontrera à son extrémiié *b*, puisque c'est le dernier rayon transmis par les verres.

VI. Ce rayon, étant rompu par le second verre, changera de route, en sorte qu'il rencontrera quelque part en *n* l'axe des verres : cela arriverait dans le foyer de ce verre, si auparavant le rayon A*b* avait été parallèle à l'axe; mais puisqu'il sort du point A, sa réunion avec l'axe en *n* sera plus éloignée du verre B que sa distance de foyer.

VII. Maintenant il faut placer le troisième verre B en sorte que le rayon, après avoir traversé l'axe en *n*, rencontre le verre C précisément dans son extrémité *c*, d'où l'on voit que, plus l'ouverture de ce verre C est grande, plus on le doit reculer du verre B, et plus la distance BC devient grande; mais, de l'autre côté, il faut bien se garder d'éloigner le verre C au delà, puisque alors le rayon lui échapperait, et ne serait plus transmis par ce verre : c'est donc cette circonstance qui détermine la juste distance entre les deux verres du milieu BC, conformément à l'expérience.

VIII. Le troisième verre C produira une nouvelle réfraction dans notre rayon, qui le doit conduire précisément à l'extrémité *d* du dernier oculaire D; lequel étant plus petit que le troisième C, la ligne *cd* sera un peu convergente vers l'axe, et ainsi souffrira dans le dernier verre une telle réfraction, qu'il en est réuni avec l'axe à une moindre distance que son foyer; et c'est précisément là qu'il faut placer l'œil pour recevoir tous les les rayons transmis par les verres, et y découvrir le plus grand champ.

IX. Par ce moyen, on est en état de nous procurer un champ dont le diamètre est presque deux fois plus grand que dans les lunettes astronomiques du même grossissement. Ainsi, par ces lunettes à quatre verres on obtient, outre l'avantage que les objets sont représentés debout, encore celui d'un plus grand champ, ce qui est d'une très-grande conséquence.

X. Enfin, il est possible de trouver un tel arrangement entre ces quatre verres, que, sans porter aucune atteinte aux avantages dont je viens de parler, les couleurs d'iris s'évanouissent entièrement, et que les objets y sont représentés avec la plus grande netteté. Mais peu d'artistes sont capables d'atteindre à ce degré de perfection.

10 avril 1762.

LETTRE XCI.

Sur quelques précautions à observer dans la construction des lunettes; de la nécessité de bien noircir l'intérieur des tubes, et sur les diaphragmes.

Après ces recherches sur la construction des lunettes, je dois rendre compte à Votre Altesse de quelques précautions très-nécessaires, qui, quoiqu'elles ne regardent ni les verres mêmes, ni leur arrangement, ne laissent pas d'être de la plus grande importance; de sorte que, si l'on ne les observe pas très-soigneusement, la meilleure lunette devient tout à fait inutile. Il ne suffit pas d'arranger les verres de façon que tous les rayons qui y tombent soient transmis au travers de ces verres dans l'œil; il faut, outre cela, empêcher que les rayons étrangers ne soient aussi transmis par la lunette, afin qu'ils ne troublent point la représentation. Pour cet effet, il faut prendre les précautions suivantes :

I. D'abord les verres dont une lunette est composée doivent être enfermés dans un tuyau, afin que d'autres rayons que ceux qui sont transmis par l'objectif ne puissent parvenir aux autres verres. Pour

cet effet, le tuyau doit être partout bien fermé, afin qu'aucune lumière n'y puisse entrer par quelque fente. Si par quelque accident il arrive que les tuyaux soient percés d'un trou, la lumière étrangère qui y entre étoufferait la représentation des objets.

II. Il est aussi fort important que l'intérieur du tuyau soit partout bien noirci, et même d'un noir très-foncé, puisqu'on sait que la couleur noire ne réfléchit point de rayons, quelque forte que soit la lumière qui y tombe. Ainsi Votre Altesse aura déjà observé que les tuyaux des lunettes sont noircis en dedans. Une seule réflexion en fera voir la nécessité.

III. L'objectif (*fig.* 200) ne transmet pas seulement les rayons

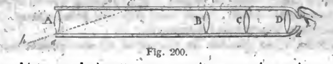


Fig. 200.

des objets que la lunette nous représente, mais aussi ceux des côtés qui y entrent tout autour en grande abondance; tel est le rayon *ha*, qui tombe en dedans sur la paroi du tuyau en *i*; donc, si le tuyau était en dedans blanc ou d'une autre couleur, il en serait éclairé, et engendrerait par lui-même de nouveaux rayons de lumière qui ne manqueraient pas de traverser les autres verres et de troubler la vision en se mêlant avec les propres rayons des objets.

IV. Mais si l'intérieur du tuyau est teint d'un noir bien foncé, il ne s'y forme point de nouveaux rayons, quelque éclairé qu'il puisse être. Cette noirceur est nécessaire par toute la longueur du tuyau, puisqu'il n'y a point de noir si foncé qui, étant éclairé, n'engendre quelque faible lumière; et ainsi, quand même quelques rayons étrangers passeraient par le second verre B, le noir du tuyau suivant les éteindrait aisément tout à fait. On a aussi un noir brillant, dont il faut bien se garder de se servir.

V. Mais ordinairement cette précaution n'est pas encore suffisante, on est encore obligé de garnir l'intérieur du tuyau d'un ou de quelques diaphragmes percés d'un petit trou, pour d'autant mieux arrêter la fausse lumière; mais il faut bien prendre garde que ces diaphragmes n'excluent point les rayons des objets que la lunette nous doit représenter (*fig.* 201).

Fig. 201.

VI. Il faut voir où les propres rayons des objets se trouvent le plus rétrécis dans le tuyau : or, cela arrive dans le lieu où les images sont représentées dans le tuyau, puisque là tous les rayons sont réunis ensemble. Or, le verre objectif A représente l'image dans son foyer en M ; on n'a donc qu'à estimer la grandeur de cette image, et y mettre un diaphragme dont le trou *mm* lui soit égal, ou tant soit peu plus grand. Car si le trou était plus petit que l'image, on perdrait sur le champ apparent, ce qui serait un grand défaut.

VII. C'est donc ce qu'il y aurait à observer sur le diaphragme dans les lunettes astronomiques composées de deux verres convexes. Dans les lunettes terrestres, il se trouve deux images représentées dans le tuyau ; outre la première en M représentée par l'objectif dans son foyer, et que le second verre B transporte à l'infini, le troisième verre C représente encore une image dans son foyer N, qui est debout, celle-là étant renversée. C'est donc en N qu'il convient de placer encore un nouveau diaphragme percé d'un trou *nn*, de la grandeur de l'image qui s'y trouve.

VIII. Ces diaphragmes, avec le noir de l'intérieur du tuyau, produisent aussi un très-bon effet dans la netteté de l'apparition. Cependant il faut bien observer que, plus le champ que la lunette découvre est grand, moins on pourra s'attendre à ces diaphragmes, puisqu'alors les images deviennent plus grandes; de sorte que les trous des diaphragmes doivent être si grands qu'ils ne sauraient plus arrêter les faux rayons. Mais alors il faut d'autant soigneusement bien noircir l'intérieur du tuyau, et le faire plus large; ce qui diminue beaucoup l'effet fâcheux dont je viens de parler.

13 avril 1762.

LETTRE XCII.

Comment les lunettes nous représentent la lune, les planètes, le soleil et les étoiles fixes; pourquoi ces dernières nous paraissent plus petites par les lunettes qu'à la vue simple. Estime de la distance des étoiles fixes, en comparant leurs grandeurs apparentes avec celle du soleil.

Je ne doute pas que Votre Altesse ne soit fort aise de se voir enfin délivrée de la sèche théorie des lunettes, qui n'a presque point d'autre agrément que celui de mener aux grandes découvertes qu'on a faites par leur secours.

Qu'il est surprenant de voir les objets fort éloignés aussi bien que s'ils nous étaient cent et plusieurs fois plus proches, surtout lorsqu'il nous est impossible de nous en approcher, comme cela arrive par rapport aux objets célestes! et Votre Altesse tombera aisément d'accord qu'à l'aide des lunettes on a dû découvrir dans les étoiles des choses bien merveilleuses.

A voir la lune cent fois plus proche qu'elle n'est effectivement, on y observera des inégalités très-curieuses, comme des vallées et des hauteurs excessives qui ressemblent plutôt, par leur régularité, à des ouvrages construits à dessein qu'à des montagnes. D'où l'on tire un argument bien fort pour prouver que la lune est habitée par des créatures raisonnables, quoique la seule contemplation de la toute-puissance, jointe à la souveraine sagesse et bonté du Créateur, nous en fournisse de plus convaincants.

De la même manière on a fait les plus importantes découvertes sur les planètes, qui, à la simple vue, ne paraissent que comme des points lumineux, mais qui, regardées à travers de bonnes lunettes, ressemblent à la lune, et paraissent même encore beaucoup plus grandes.

Par rapport aux étoiles fixes, Votre Altesse ne sera pas peu surprise quand j'aurai l'honneur de l'assurer que, même par la meilleure lunette qui grossit plus que 200 fois, ces étoiles ne laissent pas de nous paraître comme des points, et même encore plus petites qu'à la vue simple; ce qui est d'autant plus surprenant qu'il est certain que la lunette nous les représente telles que nous les verrions si nous en étions 200 fois plus près. N'en devrait-on pas conclure que les lunettes perdent leur qualité à l'égard des étoiles fixes? Mais cette pensée s'évanouit bientôt, quand on considère que les lunettes nous découvrent des millions de petites étoiles qui échapperaient entièrement aux yeux sans leur secours. Aussi voyons-nous les intervalles qui se trouvent entre les étoiles incomparablement plus grands; et deux étoiles, qui à la vue simple paraissent presque se toucher, n'ont besoin que d'être regardées à travers la lunette pour que l'on remarque entre elles une distance considérable, ce qui prouve suffisamment l'effet de la lunette.

Mais quelle est donc la raison qui fait que les étoiles fixes, ainsi regardées, nous paraissent encore plus petites qu'à la vue simple? Pour répondre à cette question, je remarque d'abord qu'à la vue simple les étoiles fixes nous paraissent plus grandes qu'elles ne devraient, et que cela vient d'une fausse lumière qui s'y mêle,

causée par leur éclat. En effet, quand les rayons qui partent d'une étoile viennent en peindre l'image au fond de l'œil sur la rétine, nos nerfs n'en sont frappés que dans un point; mais par l'éclat de la lumière, les nerfs voisins en sont aussi ébranlés, et produisent le même sentiment que l'on éprouverait si l'image de l'objet dépeint sur la rétine était beaucoup plus grande. Il en arrive autant si nous regardons de nuit une lumière fort éloignée. Elle nous paraît aussi beaucoup plus grande, et même plus que si nous la voyions de près : cet agrandissement n'est causé que par une fausse lueur. Or, plus une lunette grossit, plus cet accident doit diminuer, tant parce que les rayons souffrent quelque affaiblissement que parce que la véritable image sur le fond de l'œil devient plus grande ; de sorte que ce n'est plus un seul point qui soutient toute l'impression des rayons. Donc, quelque petites que nous paraissent les étoiles à travers une lunette, on peut prononcer hardiment qu'à la vue simple elles nous paraîtraient encore beaucoup plus petites sans la fausse lumière accidentelle, et cela autant de fois que la lunette grossit.

De là il s'ensuit que, puisque les étoiles fixes ne paraissent que comme des points, malgré qu'elles soient grossies 200 fois, leur éloignement doit être exorbitant. Il sera fort aisé à Votre Altesse de comprendre comment on peut estimer cette distance. Le diamètre du soleil nous paraît sous un angle de 32 minutes; donc, si le soleil était 32 fois plus éloigné, il paraîtrait sous un angle d'une minute, et ainsi encore beaucoup plus grand qu'une étoile vue par la lunette, dont le diamètre n'excède pas deux secondes, ou la 30e partie d'une minute. Il faudrait donc que le soleil fût encore 30 fois plus, c'est-à-dire 960 fois plus éloigné, avant qu'il ne nous parût pas plus grand qu'une étoile fixe observée avec le secours de la lunette. Or, les étoiles sont 200 fois plus éloignées de nous que la lunette ne nous les représente, et conséquemment le soleil devrait être 200 fois 960, c'est-à-dire 192,000 fois plus éloigné qu'il n'est, avant qu'il ne nous parût pas plus grand qu'une étoile fixe. Par conséquent, si les étoiles fixes étaient des corps aussi grands que le soleil, leurs distances seraient 192,000 fois plus grandes que celle du soleil; si elles étaient encore plus grandes, leurs distances devraient être encore autant de fois plus grandes; et en les supposant même plusieurs fois plus petites, leurs distances devraient toujours être de plus de 1,000 fois plus grandes que celle du soleil. Or, la distance du soleil est environ de 15,000,000 de milles d'Allemagne.

Votre Altesse ne pourra sans doute concevoir sans le plus grand

étonnement cette distance prodigieuse des étoiles fixes, et l'étendue entière du monde. Quelle doit être la puissance de celui qui a créé cette immensité, et qui en est le maître absolu! Adorons-le avec la plus profonde soumission.

17 avril 1762.

LETTRE XCIII.

Sur la question : Pourquoi la lune et le soleil nous paraissent plus grands à leur lever et à leur coucher, que lorsqu'ils se trouvent à quelque hauteur? Des difficultés qu'on rencontre en voulant expliquer ce phénomène.

Votre Altesse aura sans doute déjà remarqué que lorsque la lune se lève ou se couche, elle nous paraît beaucoup plus grande que lorsqu'elle se trouve au haut du ciel ; et tout le monde convient de ce phénomène. On fait la même observation par rapport au soleil. Cette apparence a toujours embarrassé les philosophes, et de quelque manière qu'on l'envisage, on rencontre des difficultés presque insurmontables.

Il serait sans doute ridicule de vouloir en conclure que le corps de la lune est en effet plus grand lorsqu'elle paraît dans l'horizon que lorsqu'elle est plus élevée : car, outre qu'une telle pensée serait absurde en elle-même, il faut considérer que quand la lune nous paraît à l'horizon, elle paraît à d'autres habitants de la terre plus élevée, et ainsi plus petite. Or, il est certainement impossible que le même corps soit en même temps plus grand et aussi plus petit.

Une manière presque aussi ridicule d'expliquer cet étrange phénomène, serait de supposer que la lune nous fût alors plus proche lorsqu'elle nous paraîtrait dans l'horizon que quand elle serait fort élevée, puisqu'il est certain que le même corps nous paraît d'autant plus grand qu'il est plus proche de nous; et Votre Altesse sait que, plus un même objet est éloigné de nous, plus il nous paraît petit. C'est précisément par cette raison que les étoiles nous paraissent si extrêmement petites, quoique leur véritable grandeur soit prodigieuse. Mais, toute probable que semble cette idée, elle ne saurait avoir lieu. Il est plutôt certain que la lune est même un peu plus éloignée de nous lorsqu'elle se lève ou se couche, que lorsqu'elle est plus élevée ; en voici la démonstration.

Soit le cercle ABD (*fig.* 202) la terre, et que la lune se trouve

en L. Cela posé, un habitant en A verra la lune dans son zénith, ou au plus haut point du ciel. Or, un autre habitant en D, où la ligne DL frise la surface de la terre, verra la lune en même temps dans son horizon ; de sorte qu'en même temps la lune paraîtra au spectateur A dans son zénith, et à l'autre spectateur D dans son horizon. Mais il est clair que la dernière distance DL est plus grande que la première AL ; et par conséquent la lune est plus éloignée de ceux qui la voient à l'horizon que de ceux qui la voient près de leur zénith. De là il s'ensuit ouvertement que la lune étant vue à l'horizon devrait nous paraître plus petite, puisqu'elle est effectivement plus éloignée de nous que lorsqu'elle est fort élevée. Il y a donc à s'étonner d'autant plus que nous observons précisément le contraire, et que la lune nous paraît même beaucoup plus grande quand nous la voyons près de l'horizon qu'au milieu du ciel.

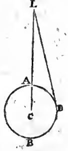


Fig. 202.

Ainsi, plus on approfondit ce phénomène, plus on le trouve étrange, et plus il mérite notre attention ; puisqu'il est certain que la lune à l'horizon devrait nous paraître plus petite, étant en effet plus éloignée, et que cependant tout le monde soutient unanimement que la lune paraît alors considérablement plus grande. Cette contradiction est évidente, et semble même renverser tous les principes établis dans l'optique, qui néanmoins sont aussi bien démontrés que ceux de la géométrie.

Je crois avoir mis dans tout son jour l'embarras où nous nous trouvons à cet égard, pour faire d'autant mieux sentir à Votre Altesse l'importance du véritable dénoûment de cette grande difficulté. D'abord, sans entrer dans l'examen de ce jugement général de tous les hommes sur la prodigieuse grandeur de la lune dans l'horizon, je m'arrêterai à la question principale : S'il est aussi vrai que la lune, étant proche de l'horizon, nous paraît effectivement plus grande ?

Votre Altesse sait qu'on a des moyens très-surs de mesurer exactement les diamètres des corps célestes, en assignant le nombre des degrés et des minutes qu'ils occupent dans le ciel ; ou, ce qui revient au même, en mesurant (*fig.* 203) l'angle EOF que forment les lignes EO et FO tirées des bouts opposés de la lune à l'œil du spectateur O ; et cet angle EOF est ce qu'on nomme le diamètre apparent de la lune. On a aussi des in-

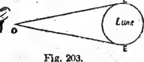


Fig. 203.

struments très-propres à déterminer exactement cet angle ; or, quand on s'en sert pour mesurer le diamètre de la lune, d'abord à son lever et ensuite lorsqu'elle est montée bien haut dans le ciel, on trouve effectivement son diamètre un peu plus petit dans le premier cas que dans l'autre, tout comme l'inégalité des distances l'exige. Sur cet article il n'y a aucun doute à former ; mais, par la même raison, notre difficulté, au lieu de diminuer, augmente plutôt ; et l'on demandera avec d'autant plus d'empressement pourquoi donc tout le monde juge-t-il la lune à son lever et à son coucher plus grande, nonobstant que son diamètre apparent est alors effectivement plus petit ? et quelle est la raison de cet éblouissement général auquel tous les hommes, sans en excepter aucun, sont assujettis ? L'astronome, qui sait parfaitement bien que le diamètre apparent de la lune est alors plus petit, en est la dupe aussi bien que le paysan le plus ignorant.

20 avril 1762.

LETTRE XCIV.

Réflexions sur cette question embarrassante, et aplanissement des difficultés qu'on y rencontre. Explications absurdes.

Votre Altesse n'aurait pas cru que la simple apparition de la lune fût assujettie à tant de difficultés ; mais j'espère les aplanir toutes par les réflexions suivantes :

I. D'abord, il n'est pas étonnant que notre jugement sur la grandeur des objets ne soit pas d'accord avec l'angle visuel sous lequel nous les voyons : l'expérience journalière nous en fournit assez de preuves. Par exemple, un chat devant moi se présente sous un angle plus grand qu'un bœuf à la distance de cent pas. Cependant je ne m'aviserai pas de juger le chat plus grand que le bœuf, et Votre Altesse se souviendra encore que notre jugement sur la grandeur des choses est toujours très-intimement lié avec celui de la distance ; de sorte que, si nous nous trompons dans l'estime de la distance, notre jugement sur la grandeur en devient nécessairement faux

II. Pour mieux éclaircir ceci, il arrive quelquefois qu'une mouche passant subitement devant nos yeux sans que nous y pensions, si notre vue est fixée sur des objets éloignés, nous imaginons d'abord que la mouche est fort éloignée de nous ; et puisqu'elle nous paraît sous un angle assez considérable, nous la

prenons au premier instant pour un aigle, ou un autre gros oiseau qui dans l'éloignement nous paraîtrait sous le même angle. Il est donc incontestablement certain que notre jugement sur la grandeur des objets ne se règle point sur l'angle visuel sous lequel ils sont vus, et qu'il y a une très-grande différence entre la grandeur apparente des objets et la grandeur jugée ou estimée : la première se règle sur l'angle visuel, mais l'autre dépend de la distance à laquelle nous jugeons que les objets sont éloignés.

III. Pour profiter de cette remarque, j'observe d'abord que nous ne devrions pas dire que nous voyons la lune plus grande à l'horizon qu'à quelque hauteur considérable. Cela est absolument faux, et nous la voyons même tant soit peu plus petite. Mais, pour parler exactement, il faut dire que nous jugeons et estimons la lune plus grande lorsqu'elle se trouve dans l'horizon ; et cela est vrai au pied de la lettre, du consentement unanime de tout le monde. Cette remarque suffit pour dissiper la contradiction rapportée ci-dessus ; et rien n'empêche que la lune, à son lever ou à son coucher, ne puisse être jugée ou estimée plus grande, quoiqu'elle soit vue sous un angle plus petit.

IV. Il ne s'agit donc plus d'expliquer pourquoi nous voyons la lune plus grande à l'horizon ; ce qui serait sans doute impossible, attendu qu'elle nous paraît effectivement plus petite, comme on peut le prouver par la mesure de l'angle visuel. Mais toute la difficulté se réduit maintenant à cette question : Pourquoi jugeons-nous ou estimons-nous alors la lune plus grande ? ou bien il faut rendre raison de cette estime bizarre. La chose n'est plus surprenante en elle-même, puisque nous connaissons mille cas où nous jugeons des objets fort grands, malgré que nous les voyions sous de très petits angles.

V. Or, il n'est plus difficile de répondre à cette question. Nous n'avons qu'à dire que, lorsque la lune se lève ou se couche, nous la jugeons plus éloignée de nous que lorsqu'elle est montée à une certaine hauteur. Dès qu'on convient de cette estime, quelle qu'en puisse être la cause, il s'ensuit nécessairement que nous devons aussi juger la lune d'autant plus grande : car toujours, plus nous estimons éloigné un objet, plus nous l'estimons grand, et cela précisément dans le même rapport. Dès que je m'imagine, par quelque illusion que ce soit, que la mouche qui passe devant mes yeux se trouve à la distance de 100 pas, je suis obligé, presque malgré moi, de la juger autant de fois plus grande que 100 pas surpassent la véritable distance de la mouche à mes yeux.

VI. Nous voilà donc réduits à une nouvelle question : Pourquoi estimons-nous la lune plus éloignée de nous lorsqu'elle se trouve dans l'horizon ? et pourquoi cette illusion est-elle si générale, que personne n'en est exempt ? car c'est une illusion bien étrange de s'imaginer que la lune soit alors beaucoup plus éloignée de nous. Il est bien vrai qu'alors la lune est en effet un peu plus éloignée, comme je l'ai fait voir dans ma lettre précédente ; mais la différence est si petite qu'elle ne saurait être sensible. Outre cela, le soleil, quoiqu'il soit 100 fois plus éloigné que la lune, ne nous paraît pas plus éloigné, et notre vue rapporte même les étoiles fixes presque à la même distance.

VII. Ainsi, quoique la lune étant à l'horizon soit effectivement un peu plus éloignée, cette circonstance n'entre pour rien dans la question présente ; et cette estime universelle par laquelle tout le monde juge alors la lune plus éloignée qu'elle ne l'est réellement doit être fondée sur des raisons tout à fait différentes, capables d'éblouir tout le monde. Car, puisque cette estime est indubitablement fausse, il faut que les raisons qui nous y déterminent soient bien frappantes.

VIII. Pour expliquer ce phénomène, pourquoi nous estimons la lune plus éloignée en la voyant dans l'horizon, plusieurs philosophes ont soutenu que la raison en était parce que nous découvrons alors beaucoup d'objets entre nous et la lune, comme des villes, des villages, des forêts et des montagnes. ce qui est cause, selon eux, que la lune nous paraît alors beaucoup plus éloignée ; au lieu que lorsqu'elle est fort élevée, nous n'observons aucun corps entre nous et elle, et ainsi, disent-ils, elle doit nous paraître plus proche. Mais cette explication, quelque ingénieuse qu'elle semble au premier coup d'œil, ne saurait être admise. On n'a qu'à regarder la lune dans l'horizon par quelque trou qui nous cache les objets intermédiaires, elle ne laisse pas de nous paraître plus grande. Outre cela, il n'est pas vrai non plus que nous estimions toujours plus éloignés les objets entre lesquels nous découvrons plusieurs autres corps. Une grande salle, par exemple, tout à fait vide, nous paraît ordinairement plus étendue que si elle est remplie de monde, malgré la quantité d'objets que nous voyons alors entre nous et les murailles.

24 avril 1762.

LETTRE XCV.

Acheminement à la vraie explication de ce phénomène. La lune paraît être plus éloignée de nous lorsqu'elle est à l'horizon que lorsqu'elle se trouve au haut du ciel.

Nous voilà donc encore fort éloignés de l'explication de cet illusion universelle par laquelle tous les hommes, sans en excepter aucun, jugent la lune beaucoup plus grande lorsqu'elle paraît dans l'horizon que lorsqu'elle est fort élevée. J'ai déjà remarqué que ce phénomène est d'autant plus bizarre que le diamètre apparent de la lune est alors même tant soit peu plus petit : de sorte qu'on devrait dire que nous ne voyons pas alors la lune plus grande, mais que nous la jugeons plus grande.

Aussi ai-je observé que très-souvent notre jugement diffère beaucoup de la vision même. Nous ne laissons pas, par exemple, de juger un cheval éloigné de 100 pas plus grand qu'un chien à la distance d'un pas, quoique la grandeur apparente du chien soit sans contredit plus grande; ou bien, ce qui revient au même, quoiqu'au fond de l'œil l'image du chien qui y est dépeinte soit plus grande que celle du cheval. Dans ces cas notre jugement a égard à la distance; et comme nous jugeons le cheval beaucoup plus éloigné que le chien, c'est la véritable raison pour laquelle nous le jugeons aussi plus grand.

Il est donc très-vraisemblable qu'une pareille circonstance a lieu dans la vision de la lune, et que nous jugeons la lune dans l'horizon plus éloignée que lorsqu'elle est fort élevée. Dans l'exemple du cheval, ce jugement de la distance était fondé sur la vérité; mais ici, comme il est absolument faux, c'est une illusion fort étrange qui doit pourtant avoir un certain fondement, puisque tout le monde en convient, et qu'on ne saurait l'attribuer à un pur caprice. Quel sera ce fondement? C'est de quoi je vais entretenir Votre Altesse.

I. D'abord tout le monde se représente le bleu du ciel comme une voûte aplatie dont le sommet nous est beaucoup plus proche que le bas, où elle se confond avec l'horizon. Ainsi un homme placé sur une plaine AB (*fig.* 204) qui s'étend aussi loin que sa vue aperçoit la voûte du ciel, qu'on nomme communément firmament, sous la figure AEFB, où les distances CA et CB sont beaucoup plus grandes que celle du zénith à C.

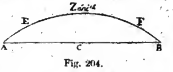


Fig. 204.

II. Cette idée est aussi, sans contredit, une illusion fort grossière, puisqu'il n'y a rien au-dessus de nous qui soit borné ou fermé par une telle voûte. Tout y est plutôt vide ; et l'étendue de ce vide est immense, puisqu'il va jusqu'aux étoiles fixes les plus éloignées, dont la distance surpasse toute la force de notre imagination. Que Votre Altesse me pardonne ce mot *vide*, dont je me sers pour l'opposer aux corps grossiers terrestres. Car, en effet, près de la terre, c'est notre atmosphère qui occupe l'espace, et plus loin c'est cette matière beaucoup plus subtile qu'on nomme l'éther.

III. Cependant, quelque imaginaire que soit en elle-même cette voûte, elle est très-réelle dans notre imagination, et tous les hommes, les savants aussi bien que les idiots, sont également dupes sur cet article-là. C'est presque à la surface de cette voûte que nous nous représentons le soleil et la lune avec toutes les étoiles, comme si c'étaient des clous brillants qui y fussent attachés ; et, malgré la connaissance que nous avons du contraire, nous ne saurions nous empêcher de nous livrer à cette fausse illusion.

IV. Cela posé, lorsque la lune se trouve à l'horizon, nous la rapportons dans notre imagination au point A ou B de ladite voûte imaginaire ; et c'est par là que nous estimons alors sa distance d'autant plus grande que nous jugeons être la ligne CA ou CB plus grande que CZ. Mais quand la lune en montant s'approche du zénith, nous l'estimons s'approcher de nous ; et si elle atteignait le zénith, nous jugerions alors sa distance la plus petite.

V. Cette illusion sur la distance entraîne nécessairement l'autre sur la grandeur. Puisque la lune, étant rapportée en A, nous paraît beaucoup plus éloignée de C que si elle était dans le zénith, nous sommes en quelque manière forcés d'en conclure que la lune même est d'autant plus grande, et cela dans la même raison que la distance CA nous paraît surpasser la distance CZ. Peut-être que tous les hommes ne sont pas trop d'accord sur cette proportion : l'un dira que la lune à l'horizon lui paraît deux fois plus grande ; un autre, trois fois, et la plupart se déclareront pour quelque milieu entre deux et trois ; mais pour la chose même, tous se réuniront.

VI. A cette occasion, il sera à propos de remettre sous les yeux de Votre Altesse la démonstration de cette conséquence : comment le jugement de la grandeur est une suite nécessaire de l'estime de la distance ?

Quand la lune est près de l'horizon, nous la voyons sous un certain angle, lequel soit MCA (*Fig.* 205), le spectateur étant en C ; et quand elle est fort élevée, soit NCD l'angle sous lequel nous

la voyons. Or, il est très-certain que ces deux angles MCA et NCD sont bien à peu près égaux entre eux, la différence étant insensible.

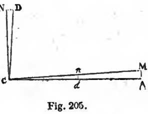


Fig. 205.

VII. Mais, dans le premier cas, puisque nous estimons la lune beaucoup plus éloignée en la rapportant à la voûte imaginaire décrite ci-dessus, soit la ligne CA cette distance imaginaire de la lune, de là il s'ensuit que nous estimons le diamètre de la lune égal à la ligne MA. Mais, dans l'autre cas, la distance de la lune CD nous paraît beaucoup plus petite; et par conséquent, puisque l'angle NCD est égal à MCA, la grandeur estimée DN sera aussi beaucoup plus petite que AM.

VIII. Pour ne laisser sur ceci aucun doute, on n'a qu'à couper les lignes C*d*, C*n*, égales aux lignes CD et CN; et puisque dans les deux triangles C*dn* et CDN, les angles en C sont égaux, les triangles mêmes le sont aussi, et par conséquent la ligne DN sera égale à *dn*; or *dn* est visiblement plus petite que AM, et cela autant de fois que la distance *cd* ou CD est plus petite que CA. Votre Altesse comprend donc clairement la raison qui nous fait estimer la lune à l'horizon plus grande que près du zénith.

27 avril 1762.

LETTRE XCVI.

Les espaces du ciel nous paraissent sous la forme d'une voûte aplatie vers le zénith.

Votre Altesse me reprochera sans doute que je viens d'expliquer une illusion par une autre qui n'est pas moins bizarre; elle m'objectera que la voûte imaginaire du ciel est aussi inconcevable que l'agrandissement apparent de la lune et des autres astres près de l'horizon. Cette objection n'est que trop bien fondée, et il est de mon devoir d'expliquer à Votre Altesse la véritable raison de ce que le ciel nous paraît sous la forme d'une voûte aplatie par le haut. Je vais tâcher de m'en acquitter par les réflexions suivantes :

I. Pour rendre raison de cette voûte imaginaire, on est obligé de dire que cela vient de ce que les objets célestes que nous voyons près de l'horizon nous paraissent plus éloignés que ceux que nous voyons près du zénith; et c'est sans doute une pétition de principe très-formelle que les logiciens ont droit de rejeter comme un vice

insupportable dans nos raisonnements. En effet, après avoir dit plus haut que la voûte imaginaire du ciel est la cause qui nous fait paraître la lune à l'horizon plus éloignée que près du zénith, il serait à présent ridicule de dire que ce qui nous fait imaginer cette voûte est que les objets horizontaux nous paraissent plus éloignés que les verticaux.

II. Il n'était cependant pas inutile de parler de cette voûte imaginaire, quoique nous n'en soyons pas plus avancés pour cela ; et quand j'aurai expliqué pourquoi les objets célestes nous paraissent plus éloignés lorsque nous les voyons près de l'horizon, Votre Altesse comprendra en même temps la raison de cette double illusion universelle, dont l'une est l'agrandissement apparent des astres dans l'horizon, et l'autre la voûte aplatie du ciel.

III. Tout revient donc à expliquer pourquoi les objets célestes vus à l'horizon nous paraissent plus éloignés que lorsqu'ils se trouvent à quelque hauteur considérable : je dis maintenant que la raison en est parce que ces objets nous paraissent moins brillants ; ce qui m'impose une double tâche, qui est de montrer pourquoi ces objets brillent avec moins d'éclat vers l'horizon, et ensuite d'expliquer comme cette circonstance entraîne nécessairement le jugement d'une plus grande distance. J'espère remplir l'une et l'autre à la satisfaction de Votre Altesse.

IV. D'abord, le phénomène lui-même ne saurait être révoqué en doute. Quelque grand que soit l'éclat du soleil vers midi, de sorte que personne ne saurait y diriger ses yeux, Votre Altesse sait que le matin et le soir, lorsque le soleil se lève ou se couche, on peut le regarder sans risquer d'en avoir la vue incommodée ; et la même chose arrive par rapport à la lune et à toutes les étoiles, dont l'éclat est extrêmement affaibli dans le voisinage de l'horizon. Aussi ne voit-on pas même les plus petites étoiles quand elles ne sont qu'un peu élevées au-dessus de l'horizon, pendant qu'on les voit assez distinctement lorsqu'elles sont parvenues à quelque hauteur considérable.

V. Ce fait étant suffisamment constaté, il s'agit de découvrir la cause de cet affaiblissement de lumière. Il est assez clair que nous ne saurions la chercher que dans la nature de notre atmosphère ou de l'air qui environne la terre, en tant qu'il n'est pas parfaitement transparent. Car si l'air était parfaitement transparent, de sorte que tous les rayons y fussent transmis sans souffrir aucune diminution, il n'y a aucun doute que les étoiles devraient toujours briller avec le même éclat, en quelque lieu du ciel qu'elles se trouvassent.

VI. Or l'air, outre qu'il est une matière beaucoup moins déliée et moins subtile que l'éther, dont la transparence est parfaite, est aussi toujours chargé de particules hétérogènes qui s'y élèvent de la terre comme les exhalaisons et les vapeurs, et qui sont nuisibles à sa transparence; en sorte que si quelque rayon rencontre une telle particule, il en est intercepté et presque éteint. Aussi, il est évident que plus l'air est chargé de ces particules, qui sont des obstacles à la transmission de la lumière, plus les rayons doivent s'y perdre; et Votre Altesse sait qu'un brouillard fort épais dépouille l'air presque de toute sa transparence, de sorte que souvent on ne saurait plus distinguer les objets à la distance de trois pas.

VII. Que les points marqués dans la *fig.* 206 représentent de telles parcelles parsemées dans l'air, dont le nombre est tantôt plus, tantôt moins grand, selon que l'air est plus ou moins serein. Il est donc évident que plusieurs rayons qui traversent cet espace doivent se perdre, et que la perte sera d'autant plus grande que le trajet qu'ils ont à parcourir par cet air sera grand. Ainsi nous voyons que, dans un brouillard, les objets éloignés deviennent invisibles, pendant que ceux qui sont fort près de l'œil sont encore aperçus : la raison en est parce que les rayons des premiers rencontrent dans leur chemin un plus grand nombre de parcelles qui les arrêtent.

Fig. 206.

VIII. De là il faut conclure que plus le trajet que les rayons des astres ont à faire dans l'atmosphère pour parvenir à nos yeux est long, plus leur perte ou affaiblissement doit en devenir considérable. Votre Altesse n'aura plus là-dessus le moindre doute. Il reste donc simplement à prouver que les rayons des étoiles que nous voyons près de notre horizon ont un chemin beaucoup plus long à parcourir dans notre atmosphère que lorsqu'elles se trouvent plus près de notre zénith. Par là Votre Altesse comprendra la véritable raison pourquoi les astres près de l'horizon, à leur lever et à leur coucher, paraissent beaucoup moins brillants. Ce sera le sujet de ma lettre prochaine.

1er mai 1762.

LETTRE XCVII.

La lumière des astres qui se trouvent à l'horizon est beaucoup affaiblie, parce que leurs rayons ont un beaucoup plus grand chemin à parcourir dans notre basse atmosphère que lorsque les astres se trouvent à une hauteur; et c'est par cette raison que nous les jugeons, à l'horizon, être plus éloignés de nous et plus grands que s'ils sont à une hauteur.

Peut-être ce que je viens d'avancer, que les rayons des astres qui se trouvent à l'horizon ont un chemin plus long à parcourir dans notre atmosphère, paraîtra bien paradoxe à Votre Atesse, attendu que l'atmosphère s'étend partout à la même hauteur; de sorte qu'en quelque lieu que se trouve une étoile, ses rayons doivent toujours pénétrer par toute sa hauteur avant que de parvenir à nos yeux. Mais j'espère que les réflexions suivantes dissiperont tous les doutes.

I. D'abord, il faut se former une juste idée de l'atmosphère qui environne la terre. Pour cet effet, le cercle intérieur ABCD (*fig.* 207) représente la terre même, et l'extérieur ponctué *abcd* termine l'atmosphère. Il faut remarquer que partout, à mesure que l'air s'élève au-dessus de la surface de la terre, il devient de plus en plus subtil et rare; de sorte qu'il se perd enfin insensiblement avec l'éther qui remplit tous les espaces célestes.

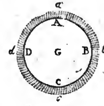


Fig. 207.

II. L'air le plus grossier, celui qui est le plus chargé des parcelles qui éteignent les rayons de lumière, se trouve partout en bas près de la surface de la terre. De là, en montant, il devient de plus en plus rare, et ainsi moins nuisible à la lumière; et à la hauteur d'un mille d'Allemagne, il est déjà si subtil qu'il n'y saurait plus causer de perte sensible à la lumière. On peut donc fixer la distance entre le cercle intérieur et l'extérieur, environ d'un mille d'Allemagne, tandis que le demi-diamètre de la terre même en contient environ 860; de sorte que la hauteur de l'atmosphère est fort peu de chose par rapport à la grandeur du globe de la terre.

III. Considérons maintenant un spectateur en A (*fig.* 208), sur la surface de la terre; et, tirant du centre de la terre G par A la ligne GZ, elle sera dirigée vers le zénith de notre spectateur.

La ligne AS, qui y est perpendiculaire et qui touche la terre, sera pour le spectateur horizontale. Conséquemment, une étoile en Z sera vue dans le zénith ou au sommet du ciel; or, une étoile en S paraîtra dans l'horizon à son lever ou à son coucher. Rien n'empêche que nous ne regardions l'une et l'autre étoile comme infiniment éloignée de la terre, quoique je n'aie pu l'exprimer dans la figure.

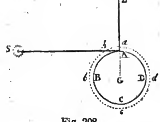


Fig. 208.

IV. A présent Votre Altesse n'a qu'à jeter les yeux sur la figure pour voir que les rayons partant de S ont un trajet beaucoup plus long à faire dans l'atmosphère que ceux de l'étoile Z, avant d'atteindre le spectateur en A. Les rayons de l'étoile Z ont seulement à traverser la hauteur de l'atmosphère *a*A qui est d'environ un mille, au lieu que les rayons de l'étoile S doivent parcourir tout le chemin *h*A, qui est visiblement beaucoup plus long; et si la figure pouvait mieux répondre à la vérité, de sorte que le rayon GA fût 860 fois plus long que la hauteur A*a*, on verrait que la distance A*h* surpasserait 40 milles.

V. Aussi est-il bon de remarquer que les rayons de l'étoile Z n'ont qu'un très-petit espace à parcourir par la basse atmosphère, qui est la plus chargée de vapeurs; au lieu que les rayons de l'étoile S ont un trajet très-considérable à faire par cette partie basse de l'atmosphère, et sont obligés presque de ramper, pour ainsi dire, sur la surface de la terre. D'où il est très-naturel de conclure que les rayons de l'étoile en Z ne souffrent presque aucun affaiblissement, tandis que ceux de l'étoile S doivent être presque éteints, à cause du grand trajet qu'ils ont à parcourir dans l'air grossier.

VI. Il est donc incontestablement prouvé que les astres que nous voyons à l'horizon doivent paraître avec un éclat extrêmement affaibli. Maintenant Votre Altesse comprendra fort aisément pourquoi nous pouvons fixer les yeux sur le soleil levant ou couchant, sans qu'ils en soient incommodés; au lieu qu'à midi, lorsque le soleil est haut, son éclat nous est insupportable. Or, c'est le premier article que je m'étais proposé de démontrer; il ne me reste actuellement qu'à prouver l'autre : savoir, que le même affaiblissement de lumière nous force presque à nous imaginer comme si les corps célestes étaient alors beaucoup plus éloignés de nous que si nous les voyions dans leur plein éclat.

VII. Or, il en faut chercher la raison dans les objets terrestres

que nous voyons tous les jours, et sur la distance desquels nous formons un jugement. Mais par la même raison que les rayons, en passant par l'air, souffrent quelque affaiblissement, il est clair que plus un objet est éloigné de nous, plus il perd de sa clarté ou plus il nous paraît obscur. Ainsi une montagne fort éloignée nous paraît très-sombre ; mais si, au contraire, nous nous en approchons assez, nous y distinguons facilement les arbres, ce qui n'est pas possible dans un grand éloignement.

VIII. Cette observation générale, qui ne nous trompe jamais dans les objets terrestres, a produit en nous, depuis notre première jeunesse, ce principe fondamental par lequel nous jugeons tous les objets d'autant plus éloignés que les rayons qui nous en viennent ont été affaiblis. C'est donc en vertu de ce principe que nous estimons la lune, à son lever ou à son coucher, beaucoup plus éloignée de nous que quand elle a déjà atteint une hauteur considérable; et par cette même raison nous la jugeons aussi d'autant plus grande. Je me flatte que Votre Altesse trouvera ces raisons parfaitement bien fondées, et ce phénomène bizarre aussi bien éclairci qu'il est possible.

4 mai 1762.

LETTRE XCVIII.

Sur quelques autres illusions qui viennent de ce que nous jugeons un objet d'autant plus éloigné de nous que sa lumière ou son éclat nous paraît faible. De quelle manière les peintres en profitent.

Le principe de notre imagination par lequel je viens d'expliquer ce phénomène tout à fait bizarre, qui nous fait estimer la lune beaucoup plus grande près de l'horizon qu'au milieu du ciel; ce principe, dis-je, est tellement enraciné dans notre esprit qu'il est la source de mille autres illusions dont je me contenterai de mettre quelques-unes sous les yeux de Votre Altesse.

Depuis notre jeunesse, nous nous sentons entraînés, comme malgré nous, à juger les objets d'autant plus éloignés que leur éclat est affaibli; et d'un autre côté, les objets fort brillants nous paraissent plus proches qu'ils ne le sont. Cette illusion ne vient sans doute que d'une imagination peu réglée qui nous mène très-souvent à faux. Néanmoins elle nous est si naturelle et en même temps elle est si universelle qu'il n'y a personne qui soit le maître de s'en garantir, quoique l'erreur où elle nous précipite soit sou-

vent très-manifeste, comme j'ai eu l'honneur de le faire remarquer à Votre Altesse par rapport à la lune; mais nous sommes également trompés en quantité d'autres occasions dont je vais développer quelques-unes.

I. C'est une illusion fort connue, que de nuit le feu d'un incendie nous paraît beaucoup plus proche qu'il n'est effectivement. La raison en est bien claire : c'est que le feu brille avec un très-grand éclat, et, selon le principe établi de notre imagination, nous l'estimons toujours plus près qu'il n'est.

II. De la même manière, une grande salle dont les parois sont bien blanchies nous paraît toujours moins grande. Votre Altesse sait que la couleur blanche est la plus brillante : donc, nous estimons les murailles de cette salle trop proches de nous, et par conséquent l'étendue apparente de la salle en est diminuée.

III. Or, dans une salle dont les murailles sont couvertes de drap noir, comme c'est l'usage dans les grands deuils, nous éprouvons un effet entièrement contraire. Alors une telle chambre nous paraît beaucoup plus spacieuse qu'elle n'est effectivement; le noir est sans doute la couleur la plus sombre, attendu qu'elle ne renvoie presque aucune lumière dans nos yeux; et, par cette raison, il nous semble que les parois noires sont beaucoup plus éloignées de nous qu'elles ne le sont en effet. Ainsi, qu'on couvre de toile noire les murailles d'une chambre, elle paraîtra plus grande; et au contraire, qu'on les fasse bien blanchir, la chambre paraîtra plus petite.

IV. Mais ce sont les peintres qui savent le mieux profiter de cette illusion si naturelle et si commune à tous les hommes. Votre Altesse sait que le même tableau nous représente des objets dont quelques-uns nous paraissent extrêmement éloignés, pendant que d'autres nous semblent fort proches; et c'est en quoi consiste la plus grande ressource d'un habile peintre. Il est sans doute bien surprenant que, malgré que nous sachions très-certainement que toutes les représentations d'un tableau sont exprimées sur la même surface, et ainsi à peu près à une égale distance de nos yeux, nous n'en soyons pas moins trompés, et que nous jugions les unes fort loin, les autres fort près. On attribue communément cette illusion à un adroit mélange de lumière et d'ombre, lequel fournit sans doute aux peintres les plus grands secours. Mais Votre Altesse n'a qu'à considérer un tel tableau pour s'apercevoir que les objets qui doivent nous paraître fort éloignés sont exprimés très-faiblement et assez indistinctement. Ainsi, quand nous portons notre vue sur des objets fort éloignés, nous apercevons bien, par exemple,

des personnes en gros, mais sans que nous puissions en distinguer les yeux, ni le nez, ni la bouche; et c'est conformément à cette apparence que le peintre représente ces objets. Quant à ceux que nous devons estimer fort près de nous, le peintre leur donne les plus vives couleurs, et prend la peine d'y exprimer soigneusement toutes les minuties. Si ce sont des personnes, nous y distinguons les moindres linéaments du visage, les plis de l'habit, etc.; alors une telle représentation semble, pour ainsi dire, sortir hors du tableau, tandis que d'autres y paraissent enfoncées et reculées fort loin.

V. C'est donc uniquement sur cette illusion que tout l'art de la peinture est fondé. Si nous étions accoutumés à juger selon la vérité, cet art tout entier ne saurait plus avoir lieu, non plus que si nous étions aveugles. Le peintre aurait beau faire valoir toute son adresse dans le mélange des couleurs, nous dirions : Voilà sur cette table, ici une tache rouge, là une bleue, ici un trait noir, là quelques lignes blanchâtres; tout se trouve sur la même surface, il n'y a nulle part ni enfoncement ni élévation, et ainsi aucun objet réel ne saurait être représenté de cette manière; on ne saurait alors le regarder autrement que comme on regarde une écriture sur le papier, et l'on se fatiguerait peut-être inutilement à vouloir deviner la signification de toutes les taches diversement colorées. Dans un tel état de perfection, ne serions-nous pas aussi fort à plaindre d'être privés des plaisirs que nous procure tous les jours un art à la fois si amusant et si instructif?

8 mai 1762.

LETTRE XCIX.

Sur le bleu du ciel [1].

Votre Altesse vient de comprendre la cause de cette illusion par laquelle la lune, aussi bien que le soleil, nous paraît beaucoup plus grande dans l'horizon qu'à une hauteur considérable : c'est parce que nous estimons alors ces corps plus éloignés de nous; et la raison de cette estime est fondée sur ce que leur lumière souffre alors un affaiblissement considérable, par le long trajet qu'elle doit faire à travers l'atmosphère dans la basse région, qui est la plus chargée de vapeurs et d'autres exhalaisons qui diminuent la trans-

1. Voyez la lettre XXXII de la 1re partie.

parence. C'est à quoi se réduisent toutes les réflexions que j'ai eu l'honneur de proposer à Votre Altesse sur ce sujet.

Cette qualité de l'air, qui en diminue la transparence, pourrait être regardée comme un défaut au premier coup d'œil; mais si nous en considérons les suites, nous trouvons que, bien loin que ce soit un défaut, nous devons plutôt y reconnaître la sagesse et la bonté infinie du Créateur. C'est d'abord à cette impureté de l'air que nous sommes redevables de ce spectacle merveilleux et ravissant que nous offre le bleu du ciel : car les particules opaques qui arrêtent les rayons de lumière en sont éclairées, et nous renvoient ensuite leurs propres rayons produits dans leur surface par un trémoussement violent, tout comme il arrive dans tous les corps opaques. Or, le nombre de vibrations qu'elles reçoivent est tel qu'il nous représente le plus beau bleu. Cette circonstance mérite bien que je la développe clairement.

I. D'abord j'observe que ces particules sont extrêmement petites et fort éloignées entre elles, outre qu'elles sont très-déliées et presque tout à fait transparentes. De là vient que chacune séparément n'est pas absolument perceptible; et à moins qu'un très-grand nombre de ces particules n'envoie ses rayons à la fois et presque selon la même direction dans nos yeux, nous ne saurions en être affectés. Il faut donc que les rayons de plusieurs se réunissent pour qu'ils excitent une sensation.

II. De là il suit clairement que celles de ces particules qui nous sont proches échappent à nos sens, puisqu'il faut les considérer comme des points rarement dispersés par la masse de l'air.

Mais celles qui sont fort éloignées de l'œil, comme (*fig.* 209) les points *a*, *b*, *c*, réunissent dans l'œil, presque selon la même direction, leurs rayons, qui, par là, deviennent assez forts pour frapper notre vue, surtout quand on considère que de semblables particules plus éloignées *e*, *f*, *g*, *h*, ainsi que d'autres plus voisines, concourent à produire cet effet.

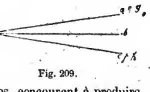


Fig. 209.

III. La couleur bleue que nous voyons dans le ciel, lorsqu'il est serein, n'est donc autre chose que le résultat de toutes ces particules dispersées dans l'atmosphère, et principalement de celles qui sont fort éloignées de nous; et ainsi on peut bien dire que toutes ces particules sont bleues de leur nature, mais d'un bleu extrêmement clair, qui ne devient assez foncé et sensible que lorsqu'elle

sont en très-grand nombre, et qu'elles joignent ensemble leurs rayons selon la même direction.

IV. L'art peut produire un effet semblable. On n'a qu'à dissoudre une petite quantité d'indigo dans une grande quantité d'eau; alors, en laissant tomber cette eau par gouttes, on n'y remarque pas la moindre teinture; et si l'on en verse dans un petit gobelet, on n'y verra qu'une couleur bleuâtre très-faible; mais si l'on en remplit un grand vaisseau et qu'on le regarde de loin, on y observe un bleu très-foncé. La même expérience peut se faire aussi avec d'autres couleurs. C'est ainsi que le vin de Bourgogne en très-petite quantité paraît à peine un peu rougeâtre; et que si l'on regarde une grande fiole qui en soit remplie, la couleur rouge paraîtra bien foncée.

V. Toute eau, lorsqu'un grand et profond bassin en est rempli, paraît toujours avoir une certaine couleur, quoiqu'une petite quantité soit tout à fait claire et limpide. Ordinairement cette couleur est verdâtre plus ou moins, ce qui fait dire que les dernières particules de l'eau sont verdâtres, mais d'une couleur extrêmement déliée; de sorte qu'il en faut regarder un gros volume avant de s'en apercevoir, puisqu'alors les rayons de plusieurs particules se joignent ensemble pour produire le même effet.

VI. Comme il paraît probable, par cette observation, que les dernières particules de l'eau sont verdâtres, on pourrait soutenir que la même raison par laquelle la mer, ou l'eau d'un lac et d'un étang nous paraissent vertes, est celle par laquelle le ciel nous paraît bleu. Car il est plus vraisemblable que toutes les particules de l'air aient une légère teinture de bleu, mais qui soit si faible, qu'elle ne devienne visible que quand on regarde une masse immense, comme toute l'étendue de l'atmosphère, qu'il ne l'est d'attribuer cette couleur aux vapeurs qui voltigent dans l'air, et qui n'y appartiennent pas.

VII. En effet, plus l'air est pur et dégagé d'exhalaisons, plus le bleu du ciel a de l'éclat; ce qui prouve suffisamment qu'il faut en chercher la raison dans les particules propres de l'air. D'autres matières étrangères qui se mêlent avec l'air, comme les exhalaisons, deviennent au contraire nuisibles à ce beau bleu, et ne font qu'en altérer extrêmement l'éclat. Lorsque de telles vapeurs chargent trop l'air, elles causent ici-bas des brouillards, et nous dérobent entièrement le spectacle de la couleur bleue : si elles sont plus élevées, comme cela arrive ordinairement, il s'en forme des nuages qui couvrent souvent le ciel tout entier, et nous offrent une tout autre couleur que ce bleu de l'air pur; c'est donc une nou-

velle qualité de l'air, outre celle de la subtilité, de la fluidité et de l'élasticité, que j'ai eu déjà l'honneur de proposer à Votre Altesse, c'est-à-dire que les dernières particules qui constituent l'air sont bleuâtres de leur nature.

11 mai 1762.

LETTRE C.

Sur ce que nous observerions si l'air était parfaitement transparent, et de la situation déplorable dans laquelle une telle parfaite transparence de l'air nous jetterait.

Sur cette teinture de l'air qui nous environne, sans laquelle nous ne jouirions pas de ce beau spectacle du bleu du ciel, je remarque de plus que nous serions bien malheureux si l'air était parfaitement transparent et dépouillé de ses particules bleuâtres; de sorte que nous devons plutôt y reconnaître et admirer la bonté infinie et la sagesse du Créateur.

Pour en convaincre parfaitement Votre Altesse, supposons que l'air soit tout à fait transparent et semblable à l'éther, lequel, comme nous le savons, transmet tous les rayons des étoiles sans en arrêter aucun, et ne contient point de telles particules qui soient elles-mêmes éclairées par les rayons, attendu qu'une telle particule ne saurait être éclairée sans intercepter quelques rayons qui y tombent. Si l'air se trouvait dans un pareil état, tous les rayons du soleil le traverseraient librement, et aucune lumière n'en serait renvoyée dans nos yeux; nous ne recevrions d'autres rayons que ceux qui viennent immédiatement du soleil. Par conséquent tout le ciel, excepté le lieu où est le soleil, nous paraîtrait tout à fait obscur; et au lieu de ce beau bleu brillant, si nous regardions en haut, nous n'y découvririons qu'un noir très-foncé et une nuit la plus obscure.

La *fig.* 210 représente le soleil, et le point O est un spectateur dont l'œil ne recevrait d'autres rayons d'en haut que du soleil, de sorte que toute la clarté serait renfermée dans e petit angle EOF. En portant sa vue vers une autre région du ciel, comme vers M, on n'en recevrait aucun rayon, et il en serait de même que si l'on regardait dans un lieu entièrement obscur; or, tout endroit qui n'envoie

Fig. 210.

point des rayons de lumière est noir. Je fais ici abstraction des étoiles dont le ciel est rempli; car, en dirigeant l'œil vers M, rien n'empêche que les rayons des étoiles qui se trouvent dans cette région n'entrent dans l'œil; et même ces rayons auraient d'autant plus de force, qu'ils ne souffriraient aucun affaiblissement par l'atmosphère, telle que je viens de la supposer. On verrait donc toutes les étoiles en plein jour aussi bien que dans la nuit la plus obscure; mais il faut considérer que tout ce plein jour se réduirait au seul petit angle EOF, tout le reste du ciel étant aussi obscur que la nuit.

Cependant, tout près du soleil, les étoiles nous seraient invisibles, et nous ne verrions point, par exemple, l'étoile N; puisqu'en la regardant notre œil recevrait en même temps les rayons du soleil, desquels il serait si vivement frappé, que la faible lumière de l'étoile n'y saurait exciter de sensations. Je ne parle pas de l'impossibilité qu'il y aurait à tenir l'œil ouvert, en voulant regarder N; cela est trop sensible pour ne pas être entendu.

Mais en opposant au soleil un corps opaque qui en interceptât les rayons, on ne manquerait pas de voir l'étoile N, quelque proche qu'elle fût du soleil; Votre Altesse comprendra aisément dans quel triste état nous nous trouverions alors. Ce voisinage du plus grand éclat et des ténèbres les plus sombres blesserait notre vue, au point que nous en deviendrions d'abord aveugles. On peut en juger par l'incommodité que nous ressentons en passant subitement d'un lieu obscur dans un autre fort éclairé.

C'est donc à ce grand inconvénient que remédie la nature de l'air, en tant qu'il contient des particules tant soit peu opaques et susceptibles d'illumination. Alors, dès que le soleil se lève au-dessus de l'horizon, et même déjà un peu auparavant, toute l'atmosphère en devient éclairée, et nous présente ce beau bleu dont j'ai déjà eu l'honneur de parler à Votre Altesse; de sorte que nos yeux, quelque part que nous les dirigions, en reçoivent quantité de rayons engendrés dans les mêmes particules. Ainsi, en regardant vers M, nous y apercevons une très-grande clarté, ou bien ce brillant bleu du ciel.

C'est cette même clarté qui nous empêche de voir les étoiles pendant le jour; et la raison en est évidente. Cette clarté surpasse de beaucoup de fois celle des étoiles, et une moindre s'évanouit auprès d'une autre beaucoup plus grande; car les nerfs de la rétine au fond de l'œil, étant déjà frappés par une lumière très-forte, ne sauraient plus être sensibles à la faible impression des étoiles.

Votre Altesse n'a qu'à se rappeler que le clair de la pleine lune

est déjà plus de 300,000 fois moindre que celui du soleil, pour se convaincre que la clarté qui nous vient des seules étoiles n'est rien en comparaison de celle du soleil. Or, la seule clarté du ciel pendant le jour est déjà si éclatante, que, quoique le soleil soit couvert, elle surpasse encore plusieurs mille fois celle de la pleine lune.

Votre Altesse aura déjà remarqué que, même de nuit, lorsque la lune est pleine, les étoiles paraissent beaucoup moins brillantes, et qu'on n'en voit que les plus grandes, surtout dans le voisinage de la lune; de sorte que toujours une plus grande lumière étouffe une plus faible.

Aussi est-ce un très-grand avantage que notre atmosphère commence à être éclairée par le soleil avant même qu'il se lève, parce que cela nous dispose à soutenir ensuite son vif éclat, qui nous serait insupportable si le changement de la nuit au jour était subit. Le temps pendant lequel l'atmosphère devient éclairée avant le lever du soleil, et conserve encore de la clarté après le coucher du soleil, s'appelle *crépuscule*. Comme c'est un sujet dont la considération est de quelque importance, je me propose d'en entretenir plus amplement Votre Altesse. C'est ainsi qu'un article de physique en entraîne un autre.

15 mai 1762.

LETTRE CI.

Sur la réfraction des rayons de lumière à leur entrée dans l'atmosphère, sur les effets de cette réfraction. Des crépuscules, et du lever et coucher apparents des astres.

Pour expliquer la cause des crépuscules, ou de cette clarté du ciel, tant avant le lever qu'après le coucher du soleil, Votre Altesse n'a qu'à se rappeler ce que j'ai déjà eu l'honneur de lui dire touchant l'horizon et l'atmosphère.

Que le cercle AOBD (*fig.* 211) représente la terre, et le cercle ponctué *aobd* l'atmosphère ; considérons un lieu sur la terre O par lequel on tire une ligne droite HORI qui touche la terre en O, et cette ligne HI représentera l'horizon qui sépare la partie du ciel qui nous est visible, de celle qui nous est invisible. Donc, dès que le soleil

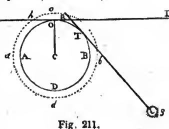


Fig. 211.

atteint cette ligne, il paraît dans l'horizon, ou en se levant, ou en se couchant, et alors aussi toute l'atmosphère en est éclairée. Mais supposons que le soleil, avant que de se lever, se trouve encore au-dessous de la terre en S, d'où le rayon STR, frisant la terre en T, puisse atteindre le point de l'atmosphère situé dans notre horizon, et les particules opaques qui s'y trouvent en seront déjà éclairées, et par conséquent nous deviendront visibles. Ainsi, quelque temps déjà avant le lever du soleil, l'atmosphère *ho*R sur notre horizon commence à être éclairée en R; et à mesure que le soleil approche de l'horizon, une plus grande partie en sera éclairée jusqu'à ce qu'elle devienne tout à fait lumineuse.

Cette considération me conduit à un autre phénomène non moins intéressant qui lui est très-étroitement lié : c'est que l'atmosphère produit encore cet effet-ci, par lequel nous voyons tant le soleil que les autres astres quelque temps avant qu'ils se lèvent au-dessus de notre horizon, et encore quelque temps après leur coucher. La raison de ce phénomène est la réfraction que les rayons souffrent en passant de l'éther pur dans l'air grossier qui constitue notre atmosphère. Je vais en donner l'explication.

I. D'abord les rayons de lumière ne continuent leur route en ligne droite qu'en tant qu'ils se meuvent dans un milieu transparent de la même nature. Dès qu'ils passent d'un milieu dans un autre, ils sont détournés de leur route rectiligne, et leur chemin devient comme rompu; c'est ce qu'on nomme la réfraction, dont j'ai eu l'honneur d'entretenir assez long-temps Votre Altesse, en expliquant comment les rayons, en passant de l'air dans le verre, et ainsi réciproquement, souffrent une réfraction.

II. Or, l'éther et l'air étant aussi deux milieux différents, lorsqu'un rayon passe de l'éther dans l'air, il faut nécessairement qu'il éprouve quelque réfraction.

Ainsi, l'arc de ce cercle AMB (*fig.* 212) terminant notre atmosphère en haut, si un rayon de lumière MS de l'éther y tombe en M, il ne continuera pas sa route suivant la même ligne droite MN; mais en entrant dans l'air il prendra une autre route MR un peu différente de MN, et l'angle NMR est nommé l'angle de réfraction, ou simplement la réfraction.

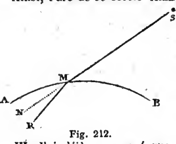


Fig. 212.

III. J'ai déjà remarqué que cette réfraction est d'autant plus grande, que le rayon SM tombe plus obliquement sur la surface de

l'atmosphère, ou que l'angle BMS est plus petit ou plus aigu. Car si le rayon SM tombait perpendiculairement sur la surface de l'atmosphère, ou que l'angle BMS fût droit, alors il n'y aurait point de réfraction, mais le rayon continuerait sa route selon la même ligne droite. Cette règle est générale dans toutes les réfractions, de quelque nature que soient les deux milieux que les rayons traversent.

IV. Que l'arc de cercle AOB (*fig.* 213) représente la surface de la terre, et que l'arc EMF termine l'atmosphère. Donc, si l'on tire en O la ligne OMV qui touche la surface de la terre en O, elle sera horizontale. Maintenant que le soleil se trouve encore au-dessus de l'horizon en S, de sorte qu'il nous serait encore invisible, puisque aucun de ses rayons ne pourrait arriver jusqu'à nous en ligne droite, et que le rayon SM, étant continué en ligne droite, passerait au-dessus de nous en N. Mais comme il tombe en M sur l'atmosphère, et cela très-obliquement, l'angle FMS étant très-petit, il y souffrira une réfraction assez considérable; et au lieu de passer en N, il pourra parvenir précisément en O; de sorte que le soleil nous soit déjà visible, quoiqu'il se trouve encore actuellement au-dessous de l'horizon, ou bien, ce qui revient au même, au-dessous de la ligne horizontale OMV.

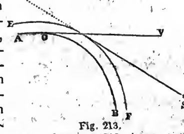


Fig. 213.

V. Cependant, parce que le rayon MO qui entre dans nos yeux est horizontal, nous rapportons dans notre jugement le soleil à la même direction, et nous nous imaginons qu'il se trouve en V, ou bien dans l'horizon, quoiqu'il soit actuellement au-dessous de l'horizon. Aussi, réciproquement, toutes les fois que nous voyons le soleil ou tout autre astre dans l'horizon, nous devons juger qu'il s'y trouve actuellement au-dessous, selon l'angle SMV, que les astronomes ont observés être environ d'un demi-degré, ou plus exactement de 32 minutes.

VI. Donc le matin nous voyons déjà le soleil avant qu'il atteigne notre horizon, lorsqu'il est encore déprimé sous l'horizon d'un angle de 32 minutes; et le soir il nous paraît plus long-temps qu'à son vrai coucher, puisque nous le voyons encore jusqu'à ce qu'il soit descendu à un angle de 32 minutes. On nomme le vrai lever ou coucher du soleil, lorsqu'il se trouve actuellement dans l'horizon; mais lorsqu'il commence à paraître le matin, ou à disparaître le soir, c'est le lever ou le coucher apparent.

VII. Cette réfraction de l'atmosphère, qui fait que le lever apparent du soleil précède son véritable coucher, cette réfraction, dis-je, nous procure cet avantage de jouir de jours plus longs qu'ils ne le seraient sans cet effet de l'atmosphère. Voilà donc l'explication d'un phénomène bien important.

18 mai 1762.

LETTRE CII.

Sur ce que les astres nous paraissent plus élevés qu'ils ne le sont effectivement, et sur la table des réfractions.

Votre Altesse vient de comprendre un effet bien singulier de notre atmosphère, par lequel nous voyons le soleil et tous les autres corps célestes dans l'horizon, quand ils se trouvent encore actuellement plongés au-dessous, et qu'ils nous seraient absolument invisibles sans la réfraction de l'atmosphère. C'est aussi par la même raison que le soleil, ainsi que toutes les étoiles, nous paraissent toujours plus élevés au-dessus de l'horizon qu'ils ne le sont effectivement ; ce qui fait que l'on doit soigneusement distinguer la hauteur apparente d'une étoile de sa véritable hauteur, à laquelle elle paraîtrait s'il n'y avait point d'atmosphère. Je vais mettre ceci dans tout son jour.

I. Que l'arc AOB (*fig.* 214) soit une partie de la surface de la terre, et O le lieu où nous nous trouvons, par lequel on tire une ligne droite HOR qui touche la surface de la terre, et cette ligne HOR nous indiquera le véritable horizon. Ou bien qu'on érige en O verticalement la ligne droite OZ, qui est la même qu'un fil suspendu et chargé d'un poids indiqué : cette ligne est nommée ici verticale, et le point du ciel Z, auquel elle aboutit, porte le nom de zénith. Or, cette ligne OZ est perpendiculaire sur l'horizontale HOR, de sorte que, l'une étant connue, on peut aisément déterminer l'autre.

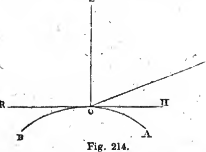


Fig. 214.

II. Cela posé, soit une étoile en S (*fig.* 215); et s'il n'y avait point d'atmosphère, le rayon SMO passerait en ligne droite à l'œil O, et nous la verrions dans la même direction OMS où elle se trouve actuellement, ou bien nous la verrions dans son véritable lieu. Alors on mesure l'angle SOR que fait le rayon SO avec l'horizon OR, et cet angle est nommé la hauteur de l'étoile, ou son élévation au-dessus de l'horizon. Ou bien on mesure l'angle SOZ que fait le rayon SO avec la ligne verticale OZ, dirigée vers le zénith; et puisque l'angle ZOR est droit, ou de 90 degrés, on n'a qu'à soustraire l'angle SOZ de 90 degrés pour avoir l'angle SOR, qui donne la véritable hauteur de l'étoile.

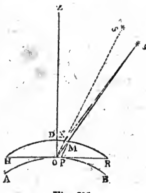


Fig. 215.

III. Tenons maintenant compte de l'atmosphère que je suppose terminée par l'arc HDNMR, et je remarque d'abord que le rayon précédent de l'étoile SM, en entrant en M dans l'atmosphère, ne continue pas sa route vers l'œil en O, mais qu'à cause de la réfraction il prendra un autre chemin, comme MP, et n'entrera point par conséquent dans nos yeux; de sorte que si l'étoile ne lançait que ce seul rayon SM vers la terre, elle nous serait absolument invisible. Or, il faut considérer que chaque point lumineux darde ses rayons en tout sens, desquels tout l'espace est rempli.

IV. Parmi tous les autres rayons il s'en trouvera donc quelqu'un, comme SN, qui en haut, dans l'atmosphère en N, y est rompu ou réfracté, en sorte que sa continuation NO passe précisément à l'œil O. Le rayon réfracté NO ne se trouve donc pas en ligne droite avec le rayon SM; et si l'on continue NO vers *s*, la continuation N*s* fera un angle avec le rayon NS, savoir, l'angle SN*s*, qui est le même qu'on nomme la réfraction, et qui est d'autant plus grand que l'angle SNR, sous lequel le rayon SN entre dans l'atmosphère, est plus aigu, comme je l'ai remarqué dans la lettre précédente.

V. Par conséquent, c'est à présent le rayon NO qui dépeint dans nos yeux l'image de l'étoile S, et qui nous la rend visible; et comme ce rayon nous vient dans la direction NO, tout comme si l'étoile s'y trouvait, nous jugeons aussi actuellement l'étoile située dans la direction NO, ou bien dans sa continuation quelque part

en *s*. Ce lieu *s* étant différent du véritable S, on nomme *s* le lieu apparent de l'étoile, qu'il faut bien distinguer du véritable lieu S, où nous verrions l'étoile s'il n'y avait point d'atmosphère.

VI. Maintenant, puisque nous voyons l'étoile par le rayon NO, l'angle NOR que fait ce rayon NO avec l'horizon est la hauteur apparente de l'étoile; et quand on mesure, par le moyen des instruments propres à cette opération, l'angle NOR, on dit qu'on a trouvé la hauteur apparente de l'étoile, la hauteur véritable étant, comme nous venons de le voir, l'angle ROS.

VII. De là il est évident que la hauteur apparente RON est plus grande que la hauteur véritable ROM; de sorte que les étoiles nous paraissent plus élevées au-dessus de l'horizon qu'elles ne le sont en effet, et que cela arrive par la même raison que les étoiles nous paraissent déjà dans l'horizon quand elles sont encore au-dessous. Or, l'excès dont la hauteur apparente surpasse la véritable est l'angle MON, qui ne diffère pas de l'angle SN*s*, qu'on nomme la réfraction. Car, quoique l'angle SN*s*, comme étant l'externe au triangle SNO, soit égal aux deux internes opposés SON et NSO pris ensemble, il faut considérer que, à cause du terrible éloignement des étoiles, les lignes OS et NS sont parallèles, et conséquemment l'angle OSN s'évanouit; de sorte que l'angle SON est presque égal à l'angle de réfraction SN*s*.

VIII. Ayant donc trouvé la hauteur apparente d'une étoile, il en faut retrancher la réfraction pour avoir sa véritable hauteur, qu'il n'est pas possible de connaître autrement que par ce moyen. Pour cet effet, les astronomes se sont donné beaucoup de peine afin de découvrir exactement la réfraction qu'il faut retrancher de chaque hauteur apparente, ou dont il faut baisser davantage le lieu apparent de l'étoile pour avoir son véritable.

IX. Après une longue suite d'observations, ils ont enfin dressé une table qu'on nomme la table de réfraction, qui marque, pour chaque hauteur apparente, la réfraction ou l'angle qu'il faut en retrancher. Ainsi, lorsque la hauteur apparente est nulle, ou que l'étoile paraît dans l'horizon, la réfraction est de 32 minutes dont il faut baisser l'étoile sous l'horizon. Mais, pour peu que l'étoile paraisse élevée au-dessus de l'horizon, la réfraction devient beaucoup moindre. A la hauteur de 15 degrés, la réfraction n'est plus que de 4 minutes; à la hauteur de 40 degrés, elle n'est que d'une minute; et pour de plus grandes hauteurs, la réfraction devient de plus en plus petite, jusqu'à ce qu'elle s'évanouisse entièrement à la hauteur de 90 degrés.

X. Cela arrive lorsqu'une étoile est vue dans le zénith même;

car alors sa hauteur est de 90 degrés, et la hauteur véritable est la même que l'apparente. Ou bien, nous sommes assurés qu'une étoile que nous voyons dans le zénith s'y trouve actuellement, et que la réfraction de l'atmosphère n'en change point la place, comme il arrive dans toutes autres situations.

... mai 1762.

FIN.

TABLE.

PREMIÈRE PARTIE.

DEUXIÈME PARTIE.

TROISIÈME PARTIE.

FIN DE LA TABLE.



